سلسلة
"العلوم للناشئين"

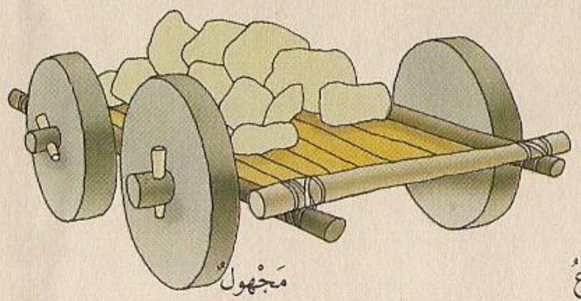
الميكانيكا الميسرة

(مبادئ واختبارات)

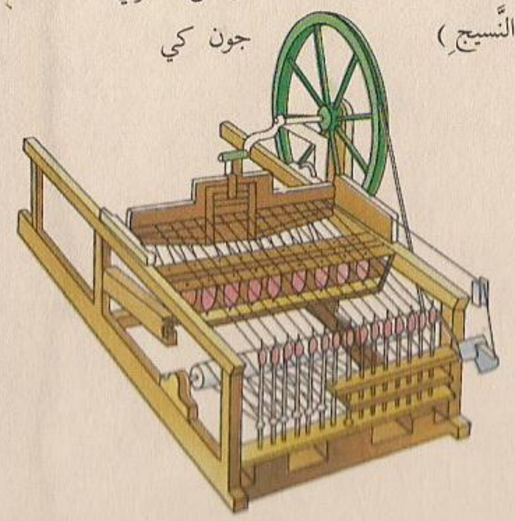
تاريخُ المَكَناتِ والآلاتِ الميكانيكيَّةِ

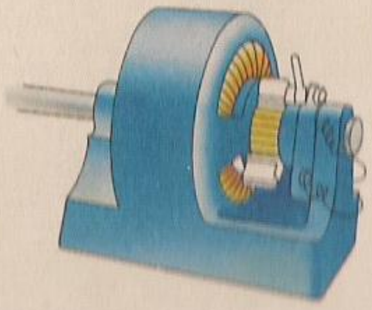
التَّاريخُ التَّقْريبيُّ لِلاِختِراعِ

	الاِخْتِراعُ	المُخْتَرِعُ
العَصْرُ الحَجَرِيُّ	العَتَلَةُ ، الإسْفِين ، السَّطْحُ المائلُ	مَجْهولٌ



حَوالى ٣٠٠٠ ق.م.	الدّولابُ وَالجزْعُ	مَجْهولٌ
٨٠٠ ق.م.	البَكَرَةُ	مَجْهول
٢٥٠ ق.م.	اللَّوْلَبُ المائيُّ (طُنبورُ أَرْخميدِس)	أَرْخميدسُ
١٠٠ ق.م.	النّاعورَةُ	الرّومانُ
القَرْنُ السّابعُ الميلادِيُّ	طاحونَةُ الهَواءِ	الفُرْسُ
١٣٣٥	السّاعَةُ الآليَّةُ	الإيطالِيّونَ
١٦٥٦	ساعَةُ الرَّقّاصِ	كريستيان هِيچنز
١٦٩٨	الآلَةُ البُخارِيَّةُ الأُولى	توماس سافْري
١٧٣٣	المَكّوكُ الطّائرُ (لِصناعَةِ النَّسيجِ)	جون كي

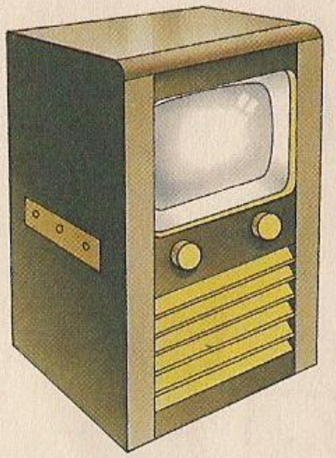


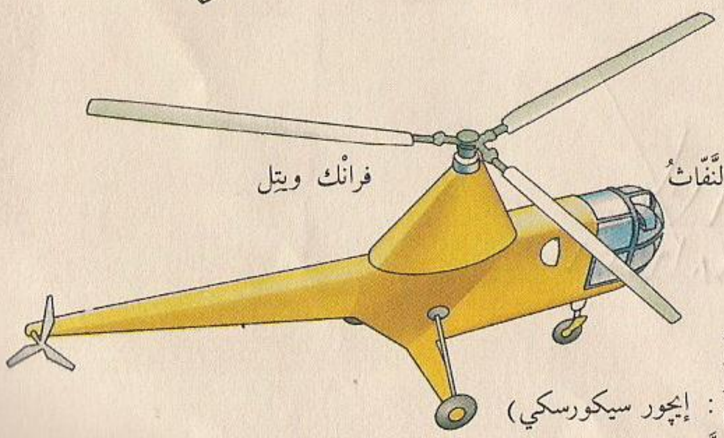


١٧٦٤	الجَزْلُ المُتَعدِّدُ المِكَبّاتِ	جيمس هارغريڤز
١٨٢١	المُحَرِّكُ الكَهْرَبائيُّ	مايْكِل فارادي
١٨٣٥	العَجَلَةُ البُخارِيَّةُ	وِلْيم أوربس
١٨٣٧	التِّلِغْرافُ	صَمويل مورْس
١٨٤٠	الدَّرّاجَةُ	كيرْكپاترك مَكميلان

إتْيان لِينْوار

١٨٦٠	المُحَرِّكُ الدّاخِليُّ الاحْتِراقِ (المُدارُ بالغازِ)	غوتْليب ديْملر
١٨٦٨	الآلَةُ الكاتِبَةُ (المُخْتَرِعُ : كريستوفَر شولْز)	هيوبَرْت بوت
١٨٨٥	السَّيّارَةُ	الأَخَوان رايْت
١٩٠١	المِكْنَسَةُ الخَوائيَّةُ	شَرِكَةُ هارْلي (الوِلايات المُتَّحِدة)
١٩٠٣	الطّائرَةُ	
١٩٠٧	الغَسالَةُ الكَهْربائيَّةُ	
١٩٢٦	التِّلِفزْيون (المخترعُ : جون لوغي بيرد)	
١٩٢٦	صاروخُ الوَقودِ السّائلِ (المخترعُ : روبرت غودارد)	





١٩٣٠	المُحَرِّكُ النَّفّاثُ	فرانْك ويتِل
١٩٣٩	الهِليكوبْتَرُ (المُخترعُ : إيچور سيكورسكي)	
١٩٤٢	المُفاعِلُ النَّوويُّ	أنْريكو فيْرمي
١٩٤٢	الحاسِبَةُ الإلِكترونيَّةُ	إيكَرْت و موتْشلي
١٩٥٤	البَطّارِيَّةُ الشَّمْسِيَّةُ	پيرسون وآخَرون

سلسلة "العلوم للناشئين"

الميكانيكا الميسّرة

(مبادئ واختبارات)

تأليف : جون و. دوروثي پول
رسوم : درّوري لين
وضعه بالعربية : أحمد شفيق الخطيب

مكتبة بلدية طولكرم العامة
قسم الاطفال
رقم التصنيف
الرقم المتسلسل ١٦٥٢
التاريخ ٥/٦/٥ ب

٥٣١ جرء
مكتبة لبنان

إنَّ مُعْظَمَ المُعدّاتِ الَّتي ستَحْتاجُها لِلْقِيامِ بالتَّجارِبِ وَالاِخْتِباراتِ الواردَةِ في هٰذا الكِتابِ سَهْلَةُ المُتَناوَلِ وَمأْمونَةُ الاستِعمالِ . اِحْتَفِظْ دَوْمًا بِدَفْتَرٍ تُسَجِّلُ فيهِ مُلاحَظاتِكَ – فَمِنَ الأُمورِ المُهِمَّةِ في مَجالِ الاخْتِباراتِ والتّجارِبِ مُلاحَظَةُ ما يَحْدُثُ في تَجْرِبَةٍ ما لِمُقارَنَتِهِ بِما يَحْدُثُ في تَجْرِبَةٍ تالِيَةٍ . وَلِهٰذا السَّبَبِ يَحْرِصُ العُلَماءُ عَلى حِفْظِ سِجِلّاتٍ يُدَوِّنونَ فيها تجارِبَهُمْ وَنَتائجَ أَبْحاثِهِمْ .

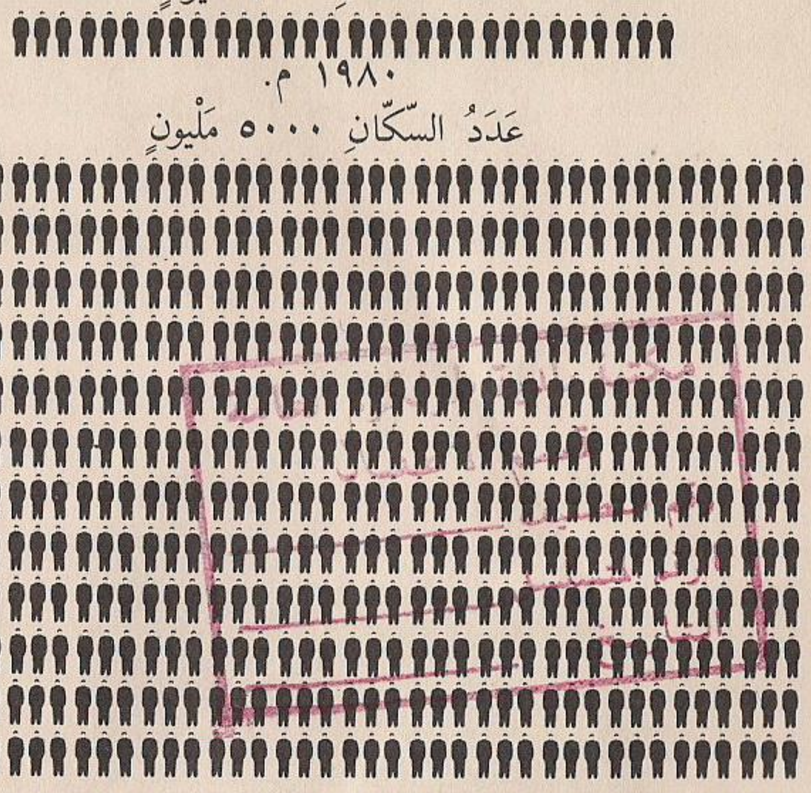
وَحَرِيٌّ بِكَ أَيُّها النّاشِئُ العَزيزُ التَّشَبُّهُ بالعُلَماءِ !

مكتبة بلدية طولكرم العامة
قسم الاطفال
رقم التصنيف
الرقم المتسلسل ١٢٤
التاريخ ١٩٩٨/٩/٢٩م

© حقوق الطّبع محفوظة – طُبِعَ في إنكلترا ١٩٨٢

٧٠٠٠ ق.م.
عَدَدُ السّكّانِ ١٠ مَلايينَ

أَوَّلُ القَرْنِ الميلادِيِّ
عَدَدُ السّكّانِ ٣٠٠ مَليونٍ



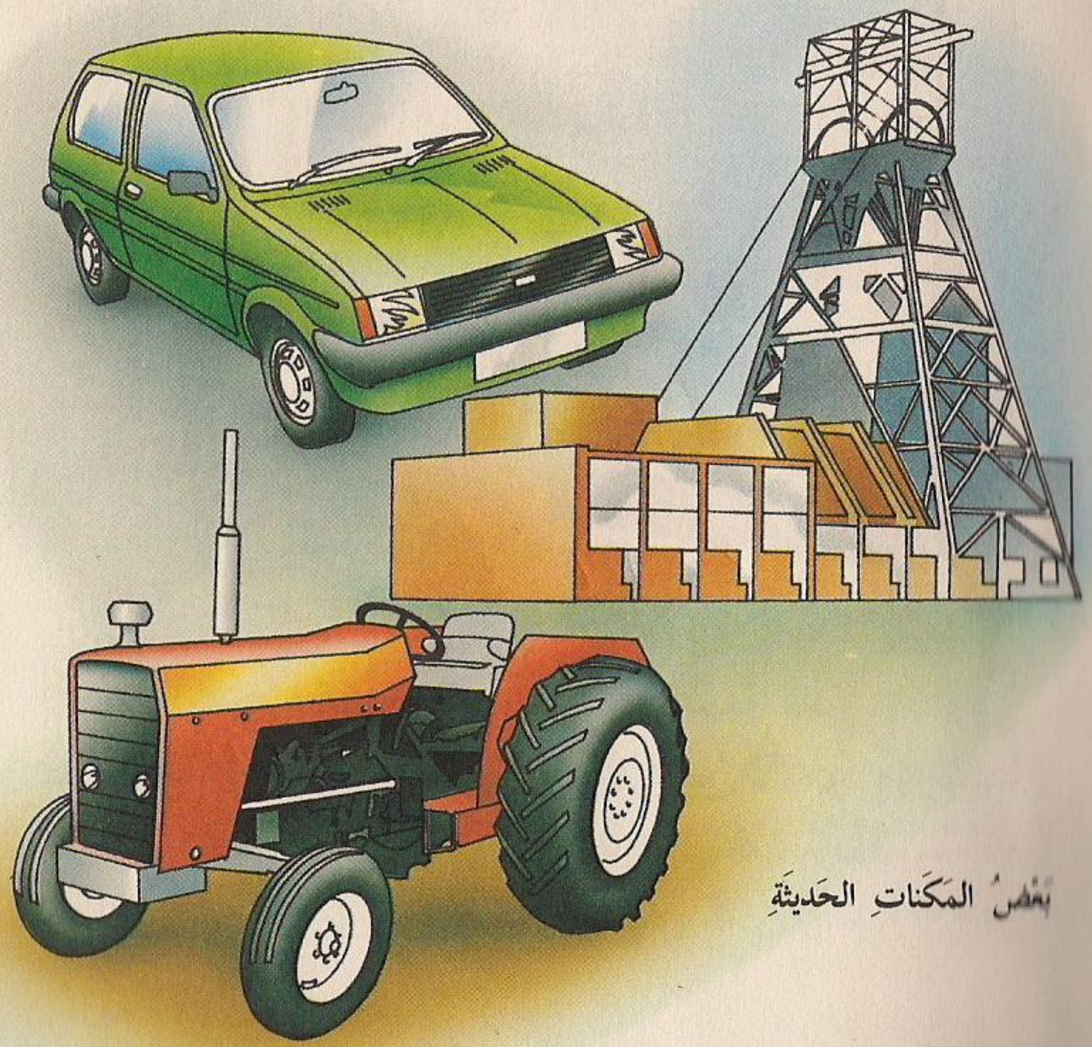
١٩٨٠ م.
عَدَدُ السّكّانِ ٥٠٠٠ مَلْيونٍ

يَزْخَرُ كَوْكَبُنا بالحَياةِ. فَبَيْنا يُقَدِّرُ العُلَماءُ، مِنْ دِراسَةِ السِّجِلّاتِ التّاريخِيَّةِ، عَدَدَ سُكّانِ الأَرْضِ عامَ ٧٠٠٠ ق.م. بِحَوالى ١٠ ملايين نَسَمَةٍ، تَضاعَفَ هٰذا العَدَدُ ٣٠ مَرَّةً عامَ المِيلاد. وَيَبْلُغُ عَدَدُ السُّكّانِ حالِيًّا حَوالى ٥٠٠٠ مَلْيون نَسَمَةٍ يُتَوَقَّعُ أَنْ يُصْبِحوا ٧٠٠٠ مَلْيون في نِهايَةِ هٰذا القَرْنِ!

وَمِثْلُ هٰذِهِ الأَعْدادِ الضَّخْمَةِ مِنَ البَشَرِ يَتَطَلَّبُ احْتِياجاتٍ ضَخْمَةً لا يَسْتَطيعُ الإِنْسانُ تَلْبِيَتَها دونَ عَوْنٍ – وَقَدْ وَجَدَ هٰذا العَوْنَ فِعْلًا في الميكانيكا والآلاتِ.

وَالآلاتُ الميكانيكِيَّةُ عَلى أَنْواعِها تُحيطُ بِنا في كُلِّ مَكانٍ – في البَيْتِ وَالمَزْرَعَةِ وَالمَصْنَعِ، بَلْ حَيْثُما كانَ، وَمَهْما كانَ نَوْعُ العَمَلِ الَّذي نُؤَدِّيهِ.

وَقَدْ طَوَّرَ الإِنْسانُ أَشْكالًا مُتَنَوِّعَةً مِنَ الآلاتِ لِتُحَقِّقَ لَهُ اسْتِغْلالَ مَوارِدِ الأَرْضِ الطَّبيعِيَّةِ عَلى الوَجْهِ الأَفْضَلِ. فالمَكَناتُ تُساعِدُ المُزارِعينَ في إِنْتاجِ كَمِّيّاتٍ هائلةٍ مِنَ المَوادِّ الغِذائِيَّةِ، كَما تُيَسِّرُ مُهِمَّةَ صَيّادي الأَسْماكِ في عُرْضِ البَحْرِ. وَالمَكَناتُ تُساعِدُنا في التَّنْقيبِ عَنِ المَعادِنِ وَالوُقُودِ وَاسْتِخْراجِها، كَما تُزَوِّدُنا بِوَسائِلِ النَّقْلِ المُخْتَلِفَةِ بَرًّا وَبَحْرًا وَجَوًّا. وَفي البَيْتِ الحَديثِ تَقومُ مُخْتَلِفُ الآلاتِ بِتَسْهيلِ عَمَلِ رَبَّةِ البَيْتِ وَتَوْفيرِ الرّاحَةِ لِجَميعِ أَفْرادِ العائلةِ – فَبِدونِ الآلاتِ تَصْبِحُ الحياةُ عِبْئًا.



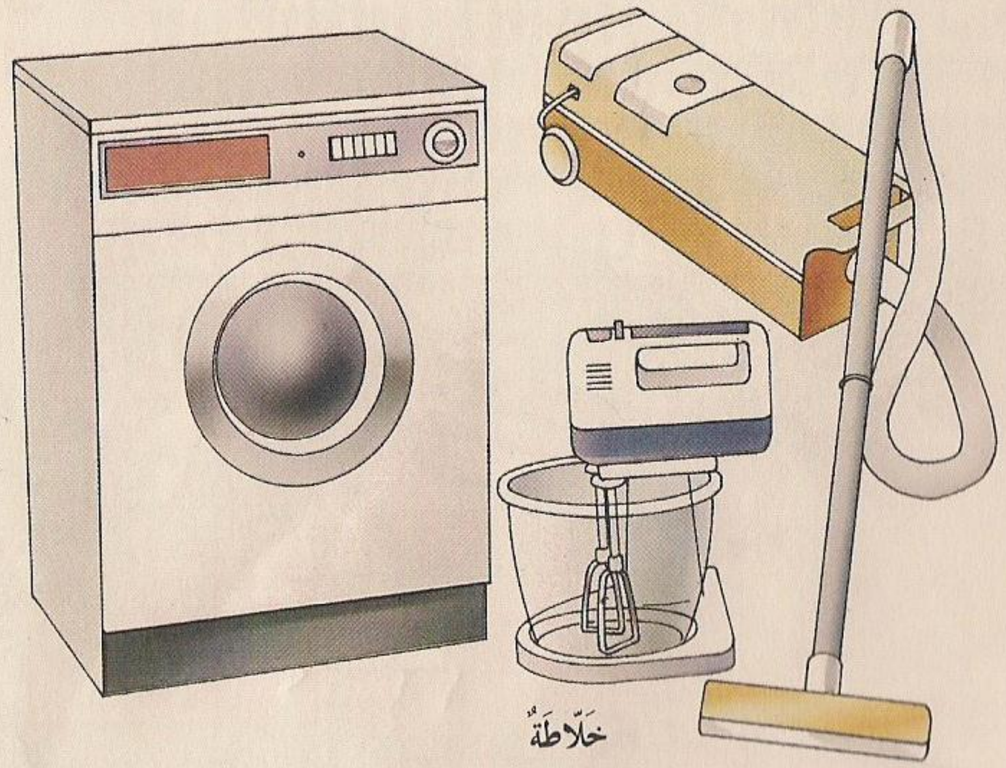
بَعْضُ المَكَناتِ الحَديثَةِ

المَكَناتُ الأولى

يَقومُ المُهَنْدِسونَ وَعُلَماءُ الصِّناعَةِ بابْتِكارِ المَكَناتِ لِتَوْفيرِ الرّاحَةِ وَالخَدَماتِ لَنا. وَلَوْ راقَبْتَ واجِهَةَ العَرْضِ في مَتْجَرِ الآلاتِ الكَهْرَبائِيَّةِ لَراعَكَ ما فيها مِنْ مُخْتَلِفِ الآلاتِ الَّتي تُوَفِّرُ الوَقْتَ وَالجَهْدَ – فَهُنالِكَ الغَسّالاتُ وَالأَفْرانُ والخلّاطاتُ وَالمَطاحِنُ وَالقَطّاعاتُ وَالمَكانِسُ وَالجَلّايات. وَلِتَوْفيرِ المُتْعَةِ هُنالِكَ الرّادِيُواتُ والتِّلِفِزْيوناتُ والمُسَجِّلاتُ وَالفونوغْرافاتُ وَالأَلْعابُ الآلِيّةُ ، وَغَيْرُها كَثيرٌ.

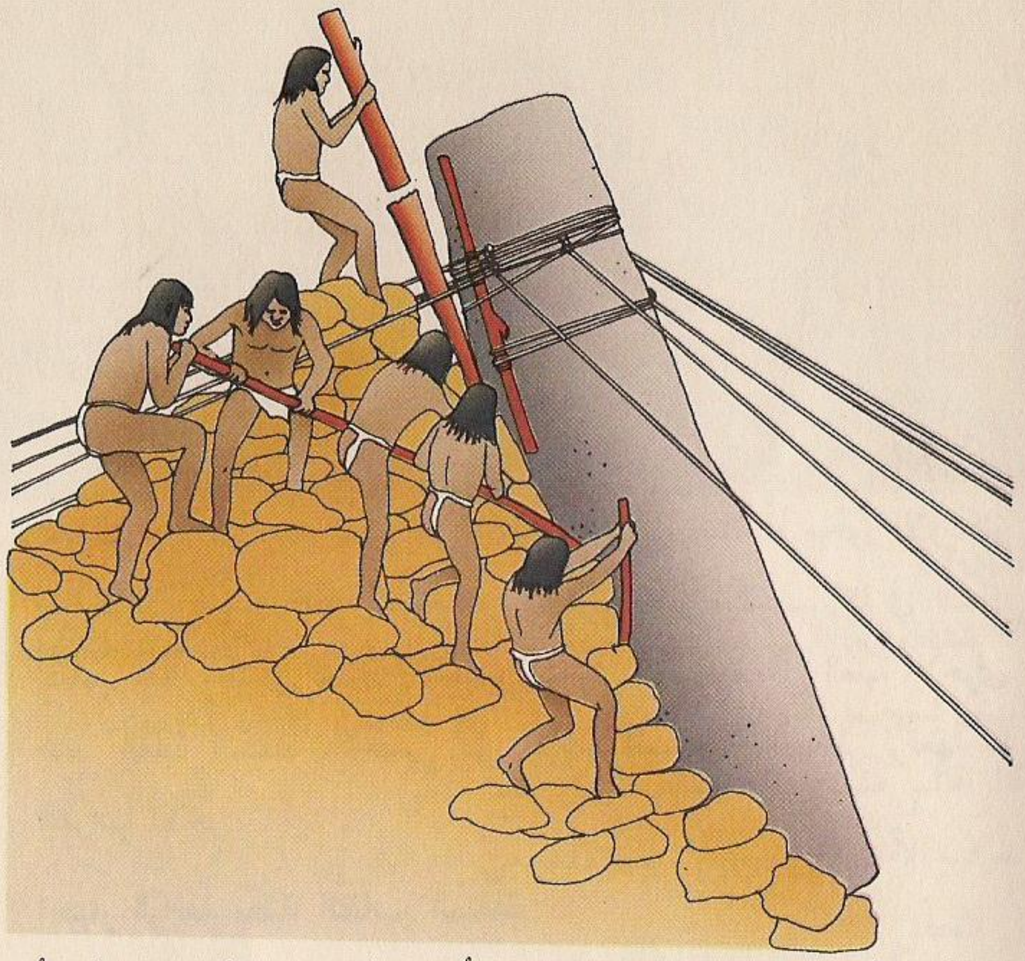
مِكْنَسَةٌ خَوائِيَّةٌ

غَسّالَةٌ



خَلّاطَةٌ

هٰذِهِ الآلاتُ الدَّقيقةُ والمُعَقَّدَةُ في مُعْظَمِها تُدارُ بالكَهْرَباءِ ، وَهِيَ نِتاجُ أَبْحاثٍ إِلِكْترونِيَّةٍ كَهْرَمِغْنيطِيَّةٍ مُتَطَوِّرةٍ. لٰكِنَّ الآلاتِ كُلَّها لَيْسَتْ كَذٰلِكَ – وَلَعَلَّكَ مَثَلًا لا تَدْري أَنَّ فَتّاحَةَ القَناني آلةٌ ، وَأَنَّ البابَ آلةٌ. فالعُلَماءُ يُسَمّونَ كُلَّ ما يُؤَدّي عَمَلًا (أَوْ شُغْلًا) آلةً.



وَقَدِ اعْتَمَدَتِ الآلاتُ الأولى عَلى القُوَّةِ العَضَلِيَّةِ. فاكْتَشَفَ الإنْسانُ القَديمُ سِتَّ آلاتٍ أَساسِيَّةٍ مُخْتَلِفَةٍ هِيَ العَتَلَةُ (الرّافِعة) والإسْفينُ والسَّطْحُ المائلُ وَالبَكَرَةُ وَاللَّوْلَبُ وَالدّولابُ ذو الجُزْعِ. وَيُسَمّي العُلَماءُ هٰذه آلاتٍ بَسيطةً لِأَنَّ أَيَّ آلةٍ أُخْرَى تَتَكَوَّنُ مِنْ مَجْموعَةٍ مِنْها.

وَسَيَبْقى مُخْتَرِعُ الآلَةِ الأُولى مَجْهولًا بالطَّبْع ، لٰكِنَّ الدَّلائلَ تُشيرُ إلى أَنَّ الآلاتِ السِّتَّ جَميعَها كانَتْ قَيْدَ الاسْتِعمالِ العادِيِّ في القَرْنِ الثّالِثِ قَبْلَ الميلادِ. وَقَدْ عَثَرَ عُلَماءُ الآثارِ عَلى نَماذِجَ مِنَ العَتَلَةِ وَالسَّطْحِ المائلِ وَالإسْفينِ في بَقايا مَساكِنِ إنْسانِ العَصْرِ الحَجَرِيِّ (أَيْ قَبْلَ حَوالى ١٠٠٠٠٠ سَنَةٍ).

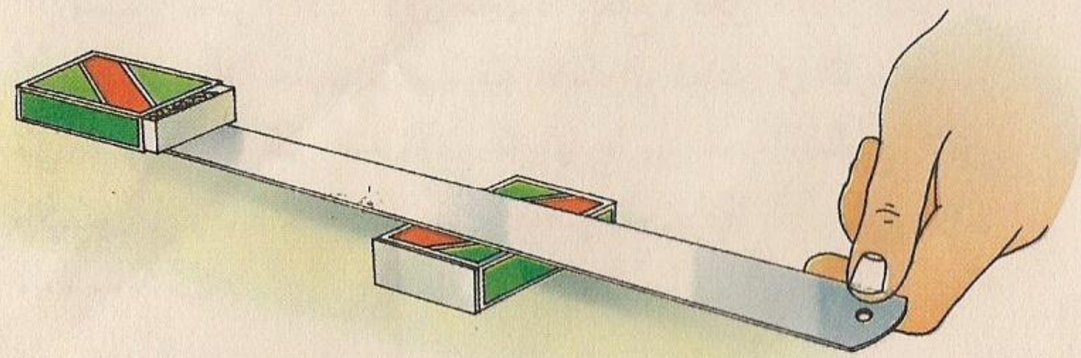
الرّافِعَةُ (العَتَلَةُ أَوِ المُخْلُ)

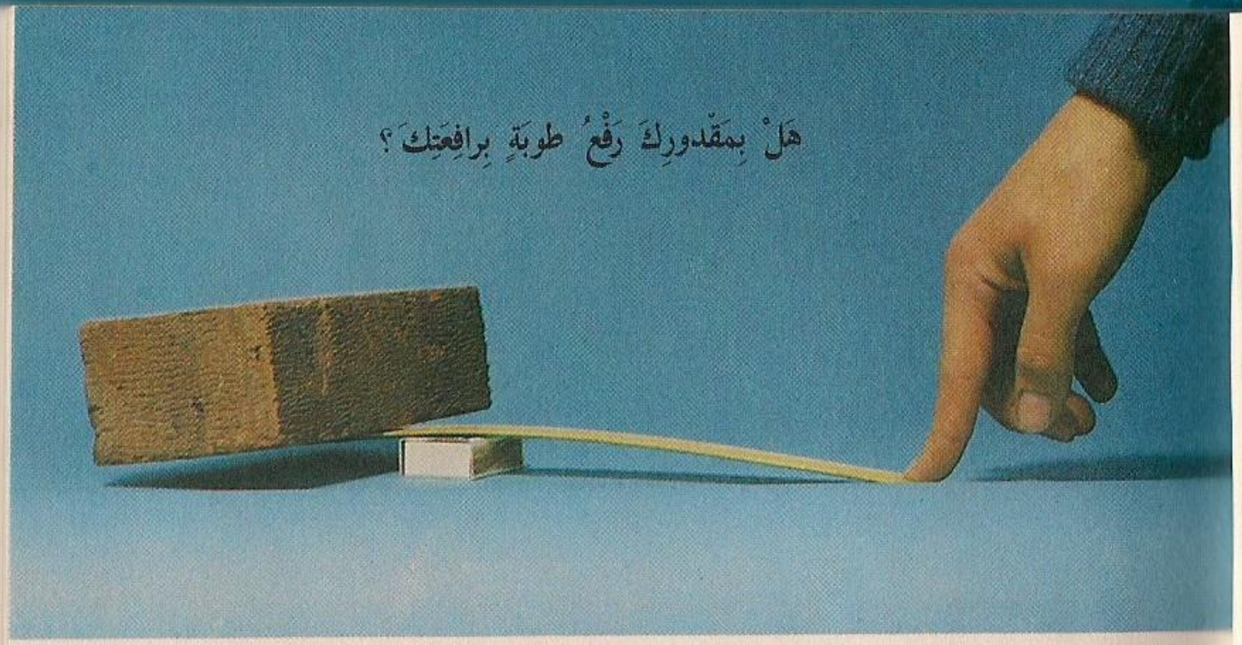
لَعَلَّ العَتَلَةَ هِيَ أُولى الآلاتِ الَّتي اخْتَرَعَها الإنْسانُ ، فَهِيَ نَبيطَةٌ سَهْلَةُ الصُّنْعِ يَسيرَةُ الاِسْتِعْمالِ . فالحَجَرُ الثَّقيلُ الَّذي يَعْجِزُ المَرْءُ عَنْ زَحْزَحَتِه بِيَدَيْهِ يَهونُ تَحريكُهُ لَوْ دُسِرَ تَحْتَهُ عَصًا قَويَّةٌ أُسْنِدَتْ إلى مُرْتَكَزٍ وَضُغِطَ عَلى طَرَفِها القَصِيِّ – وَالإنْسانُ القَديمُ الَّذي تَسَنّى لَهُ فِعْلُ ذٰلِكَ هُوَ مُخْتَرِعُ الرّافِعَةِ .

وَيُعَرِّفُ العُلَماءُ الرّافِعَةَ أَوِ العَتَلَةَ بِأَنَّها جِسْمٌ صُلْبٌ ، طَويلٌ في الغالِبِ ، يَرْتَكِزُ عِنْدَ نُقْطَةٍ عَلى امْتِدادِهِ تُسَمّى نُقْطَةَ أَوْ مِحْوَرَ الاِرْتِكازِ . وَبِإمْكانِكَ صُنْعُ رافِعَةٍ باسْتِخْدامِ مِسْطَرَةٍ وَعُلْبَتَيْ ثِقابٍ كَما في الشَّكْلِ أَدْناهُ . اِمْلَأْ إحْدَى العُلْبَتَيْنِ بالحَصى وَرَكِزِ المِسْطَرَةَ عَلى العُلْبَةِ الأُخْرى . ضَعِ العُلْبَةَ المُثَقَّلَةَ بِالحَصى عَلى طَرَفِ المِسْطَرَةِ وَاضْغَطْ لِرَفْعِها عَلى الطَّرَفِ الآخَرِ .

اخْتِبارُ الرّافِعَةِ بِعُلْبَةِ الثِّقابِ المُثَقَّلَةِ :

غَيِّرْ مَوْضِعَ الاِرْتِكازِ عَلى مَسافاتٍ مُخْتَلِفَةٍ مِنَ الحِمْلِ المُرادِ رَفْعُهُ . ماذا تُلاحِظُ ؟ إنَّ القُوَّةَ اللّازِمَةَ لِرَفْعِ الجِسْمِ المُؤَثِّرَةَ عَلى طَرَفِ الرّافِعَةِ تَقِلُّ كُلَّما اقْتَرَبَ مِحْوَرُ الاِرْتِكازِ مِنَ الحِمْلِ . لٰكِنَّكَ حينَئِذٍ تَكْبِسُ الذِّراعَ الطَّويلَةَ لِلرّافِعَةِ مَسافَةً طَويلَةً لِتَرْفَعَ عُلْبَةَ الثِّقابِ المُثَقَّلَةَ مَسافَةً قَصيرَةً .

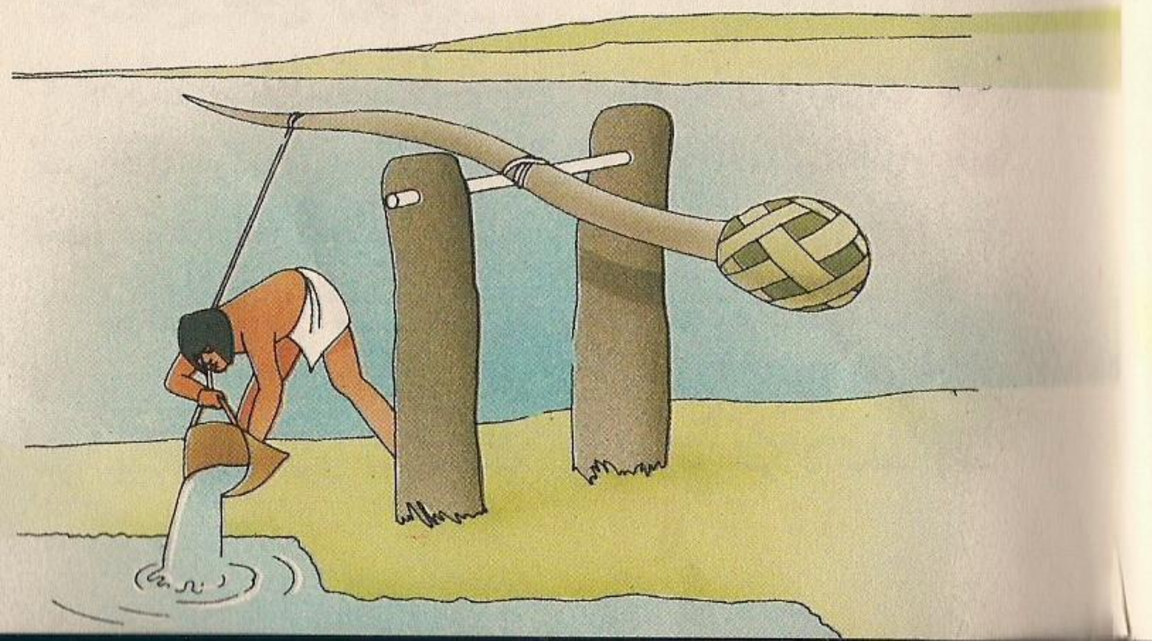


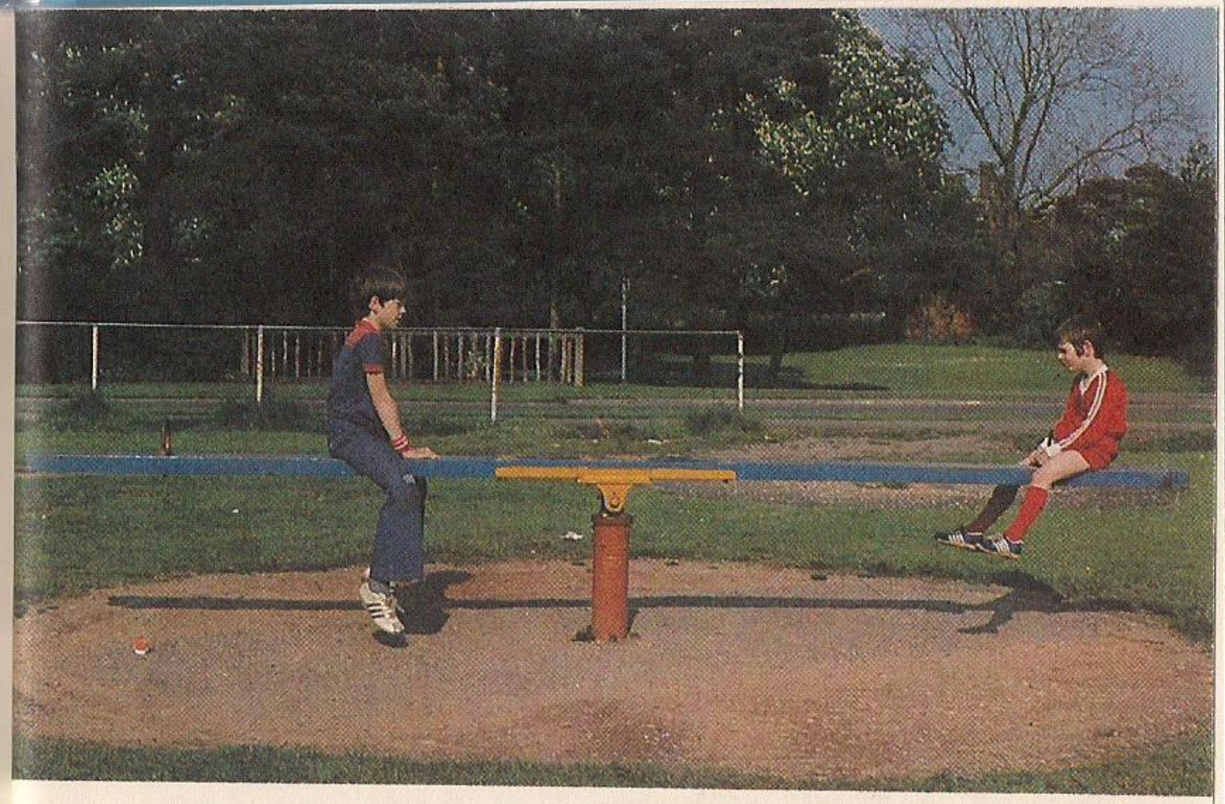


الشّادوفُ

الشادوفُ آلَةٌ بَسيطَةٌ مُهِمَّةٌ مِنْ أَنْواعِ الرَّوافِعِ تَمَّ اخْتِراعُها مُنْذُ مِئاتِ السِّنينَ لِسَحْبِ الماءِ مِنْ بِئْرٍ أَوْ نَهْرٍ لِرِيِّ المَزْروعاتِ . يَتَأَلَّفُ الشّادوفُ مِنْ إطارٍ قائمٍ مُثْبَتٍ فَوْقَهُ عَمودٌ طَويلٌ رَفيعٌ يَتَدَلّى مِنْ أَحَدِ طَرَفَيْهِ دَلْوٌ وَمِنَ الطَّرَفِ الآخَرِ ثِقْلُ مُوازَنَةٍ . يُعَبَّأُ الدَّلْوُ مِنْ ماءِ البِئْرِ ثُمَّ يُفْرَغُ في قَناةٍ تَجُرُّهُ إلى الحَقْلِ .

وَقَدِ اسْتُخْدِمَ الشّادوفُ عَلى ضِفافِ النّيلِ أَجْيالًا عَديدَةً وَما يَزالُ القَليلُ مِنْهُ قَيْدَ الاِسْتِعْمالِ حَتّى يَومِنا هٰذا .





الميزانُ

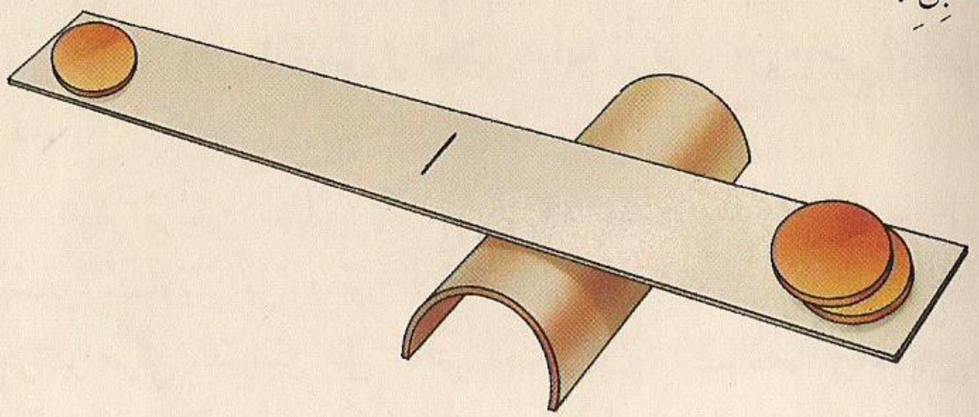
مَتى كانَتْ آخِرُ مَرَّةٍ ترَجَّحْتَ فيها عَلى أُرْجوحَةِ التَّوازُنِ؟ هَلْ كُنْتَ تَعْرِفُ حينَئذٍ أَنَّكَ تَلْعَبُ بآلَةٍ؟ فالأُرْجوحَةُ هِيَ نَوْعٌ مِنَ الرَّوافِعِ، يَسْتَطيعُ الوَلَدُ الصَّغيرُ الخَفيفُ مُوازَنَةَ شَخْصٍ أَثْقَلَ كَثيرًا عَلَيْها إذا جَلَسا في المَكانَيْنِ المُناسِبَيْنِ.

كَيْفَ تَصْنَعُ نَموذَجَ أُرْجوحَةٍ

يُمْكِنُكَ صُنْعُ نَموذَجٍ لأُرْجوحَةٍ في البَيْتِ تُجْري اخْتِباراتِكَ عَلَيْهِ. يُسَمّي العُلَماءُ مُرْتَكَزَ الرّافِعَةِ نقْطَةَ أَوْ **مِحْوَرَ الارْتِكازِ** وَالمُقاوَمَةَ المُرادَ رَفْعُها **الحِمْلَ** وَالشدَّ اللّازِمَ لِلرَّفْعِ **القُوَّةَ**.

خُذْ شَريحَةً مِنْ خَشَبٍ قاسٍ طولُها ٣٥سم وَعَرْضُها ٣سم لِتكونَ لَوْحَ التَّوازُنِ. اِصْنَعْ لَها مِحْوَرَ ارْتِكازٍ قَنْطَريًّا بِقَطْعِ شَريحَةٍ طولُها ٥سم عَبْرَ أُنبوبِ وَرَقٍ مُقَوًّى وَوازِنْها عَلَيْهِ. عَلِّمْ مَوْقِعَ التَّوازُنِ بِخَطٍّ (اُنْظُرِ

الشَّكْلَ). ضَعْ قِطْعَةً نَقْدِيَّةً عَلى أَحَدِ طَرَفَيِ الرّافِعَةِ وَقِطْعَتَيْنِ عَلى الطَّرَفِ الآخَرِ وَحاوِلْ مُوازَنَتَهُما. هَلْ يَبْقَى مِحْوَرُ الارْتِكازِ في المَوْقِعِ السّابِقِ؟



قِسِ المَسافَتَيْنِ بَيْنَ مِحْوَرِ الارْتِكازِ وَقِطَعِ النَّقْدِ. ماذا تُلاحِظُ؟ إنَّ بُعْدَ القِطْعَةِ النَّقْدِيَّةِ عَنِ المِحْوَرِ يُساوي ضِعْفَ بُعْدِ القِطْعَتَيْنِ عَنْهُ. اِسْتَخْدِمْ أَحْمالًا أَثْقَلَ وَلاحِظْ في كُلِّ مَرَّةٍ أَثَرَ تَقْريبِ الطَّرَفِ المُثَقَّلِ مِنْ مِحْوَرِ الارْتِكازِ عَلى مِقْدارِ القُوَّةِ اللّازِمَةِ لِرَفْعِ الحِمْلِ.

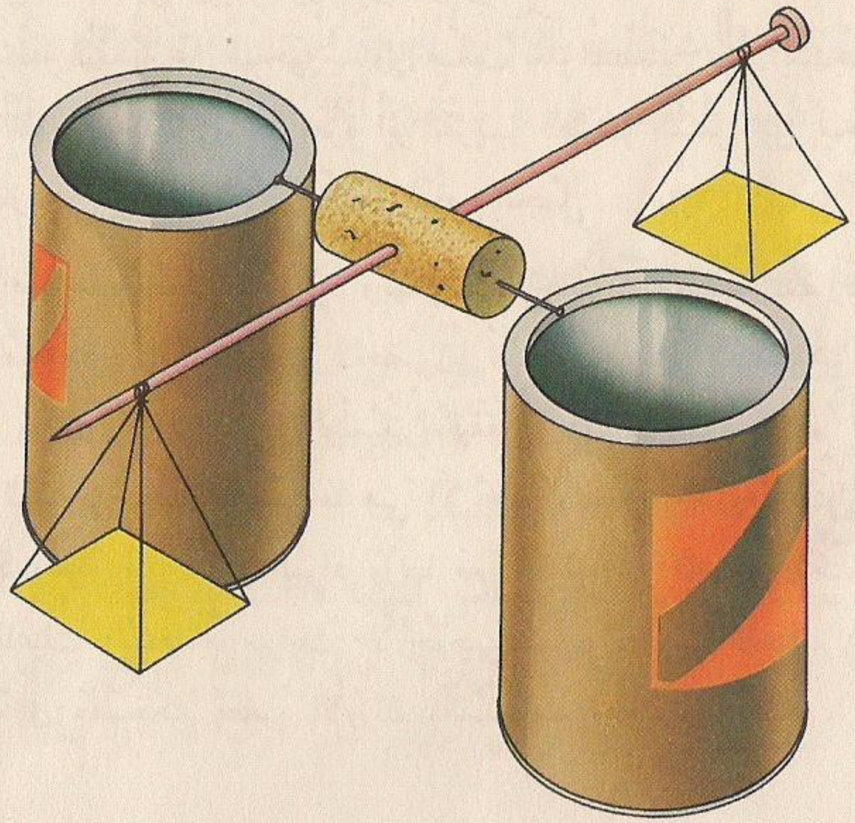
الرّافِعَةُ هٰذِهِ تَعْمَلُ كَميزانٍ. وَبِها يُمْكِنُ إيجادُ كُتْلَةِ جِسْمٍ بِمُقارَنَتِها بِكُتْلَةٍ مُحَدَّدَةٍ كالكيلوغْرام. لاحِظْ أَنَّا نَسْتَعْمِلُ كَلِمَةَ **الكُتْلَةِ** هُنا لا **الوَزْنِ**. وَذٰلِكَ لِأَنَّها الكَلِمَةُ العِلْمِيَّةُ الدَّقيقَةُ في هٰذا المَجالِ. وَالواقِعُ أَنَّ مُعْظَمَ المَوازينِ ذاتِ الكِفَّتَيْنِ ما هِيَ إلّا رَوافِعُ مُتَساوِيَةُ الذِّراعَيْنِ يَتَوازَنُ فيها الكيلوغرامُ مِنَ المادَّةِ المُرادِ وَزْنُها مَعَ الكيلوغرامِ العِيارِيِّ الكُتْلَةِ. وباسْتِطاعَتِكَ اسْتِخْدامُ ميزانِكَ الأُرْجُوحِيِّ لِوَزْنِ بَعْضِ الحاجاتِ إذا تَوافَرَتْ في مَطْبَخِكُمْ بَعْضُ الأَوْزانِ (السَّنْجاتِ) العِيارِيَّةِ.

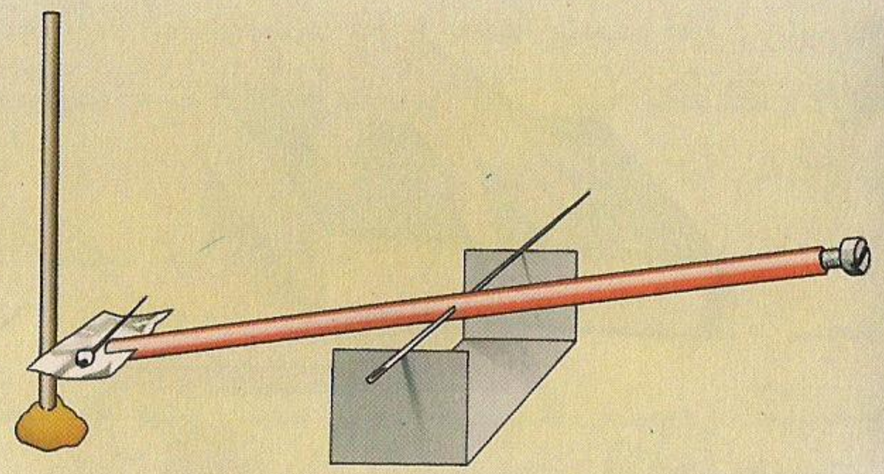
كَيْفَ تَصْنَعُ مِيزانًا حَسّاسًا

يُمْكِنُكَ صُنْعُ ميزانٍ حَسّاسٍ باسْتِخْدامِ عُلْبَتَيْن مَعْدنِيَّتَيْن فارِغَتَيْن وَصِنّارَةِ حِياكَةٍ طَويلَة وفِلِّينَةٍ وَدَبّوسَيْن. اِغْرِزِ الصِّنّارَةَ عَبْرَ الفِلِّينَةِ عَرْضًا حَتَّى تَتَوازَنَ. اِغْرِزِ الدَّبّوسَيْنِ في جانِبَيِ الفِلِّينَةِ وَرَكِّزْهُما على حافّتَيِ العُلْبَتَيْنِ كَمِحْوَرِ ارْتِكازٍ.

اِقْطَعْ مُرَبَّعَيْنِ مُتَماثِلَيْن تَمامًا مِنَ الوَرَقِ المُقَوّى وَعَلِّقْهُما بِخيطانٍ على بُعْدَيْنِ مُتَساوِيَيْنِ مِنْ مِحْوَرِ الارْتِكازِ لِيَعْمَلا كَكِفَّتَيْن. وازِنْ ميزانَكَ بِتَرْكيزِ طَرَفَي الدَّبّوسَيْنِ على حافَّتَي العُلْبَتَيْن وإذا لَزِمَ الأَمْرُ أَضِفْ بِضْعَ حُبَيْباتٍ مِنَ الرَّملِ إلى الكِفَّةِ الأَخَفِّ لِضَبْطِ التَّوازُنِ.

اِسْتَخْدِمْ هٰذا الميزانَ لِمُقارَنَةِ كُتْلَتَيْ جِسْمَيْنِ خَفيفَيْن. كَمْ حَبَّةَ رُزٍّ يَلْزَمُ لِمُوازَنَةِ ريشَةٍ؟



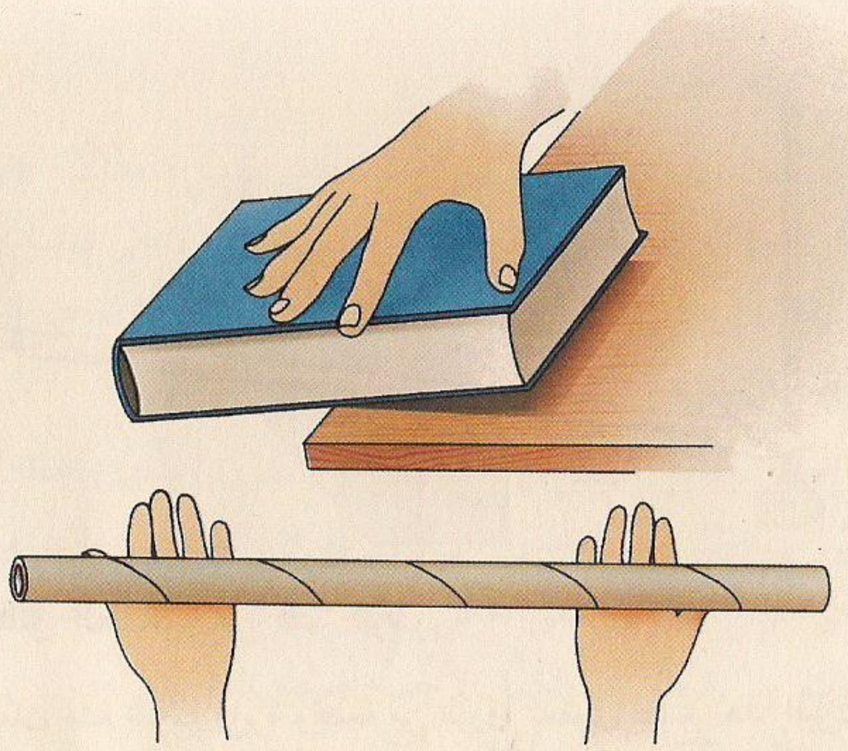


ميزانٌ فائقُ الحَساسِيَّةِ مِنْ قَشَّةِ شُرْبٍ

يَلْزَمُكَ قَشَّةُ شُرْبٍ وَإِبْرَةٌ وقِطْعَةٌ مِن الوَرَقِ المُقَوّى لِصُنْعِ هذا الميزانِ. أَعِدَّ مِحْوَرَ الارْتِكازِ أَوَّلًا بِثَنْيِ طرفَي شَريحةٍ مِنَ الوَرَقِ المُقَوّى طولُها ١٠ سم وَعَرْضُها ٣سم لِيَعْمَلا كَحامِلَيْن للإِبْرَةِ المَغْروزَةِ في قَشَّةِ الشُّرْبِ. أَدْخِلْ مِسْمارًا لَوْلَبِيًّا في طَرَفِ قَشَّةِ الشُّرْبِ وَشُقَّ الطَّرَفَ الآخَرَ وأَوْلِجْ فيه رَقيقَةً قَصْديريَّةً كَكِفَّةٍ. وازِنِ القَشَّةَ على الحامِلَيْنِ مُسْتَعينًا بِبَرْمِ المِسْمارِ.

لِإيجادِ كُتْلَةِ دَبّوسٍ بميزانِكَ، جِدْ وَزْنَ صَفْحَةٍ مِنْ وَرَقِ المُرَبَّعاتِ على ميزانِ المَطْبَخِ ثُمَّ قَسِّمْ هٰذا الوَزْنَ على عَدَدِ المُرَبَّعاتِ في الصَّفْحَةِ لِتَحْديدِ كُتْلَةِ المُرَبَّعِ الواحِدِ. اِقْطَعْ بَعْضَ هٰذِهِ المُرَبَّعاتِ كَسَنْجاتِ وَزْنٍ.

ثَبِّتْ بِالبْلاسْتيسينِ عودًا على مَقْرُبَةٍ مِنْ كِفَّةِ الميزانِ القَشِّيِّ وَأَسْقِطِ الدَّبّوسَ بِمِلْقَطٍ على كِفَّةِ الميزان ثُمَّ عَلِّمْ على العودِ المُسْتَوى الّذي تَهْبِطُ إِلَيْهِ الكِفَّةُ. اِرْفَعِ الدَّبّوسَ وَأَضِفْ إلى الكِفَّةِ مِنَ المُرَبَّعاتِ الوَرَقِيَّةِ ما يَكْفي لإعادَتِها إلى المُسْتَوى السّابِقِ. إنَّ مَجْموعَ وَزْنِ المُرَبَّعاتِ الوَرَقِيَّةِ هُوَ كُتْلَةُ الدَّبّوسِ.



تَعْيينُ نُقْطَةِ التَّوازُنِ

إذا حَرَّكْتَ كِتابًا ببُطْءٍ عَبْرَ حافّةِ المِنْضَدَةِ فإنَّهُ يَتوازَنُ في مَوْضِعٍ مُعَيَّن عَلَيْها قَبْلَ أَنْ يَسْقُطَ . فَفِي كُلِّ جِسْم هُنالِكَ نُقطَةٌ يَبْدو كأَنَّ ثِقَلَ الجِسمِ كُلَّه مُرَكَّزٌ فيها ، وَهٰذِهِ هِيَ نُقْطَةُ التَّوازُنِ أَوْ مَرْكَزُ الثِّقَلِ .

وَلتَحْديدِ مَرْكَزِ الثِّقَلِ لِجِسْمٍ مُتَطاوِلٍ رَفيعٍ ضَعْهُ عَلى يَدَيْكَ مَمْدُودَتَيْنِ ثُمَّ قَرِّبْ يَدَيْكَ إلى بَعْضِهِما ببُطءٍ ، وَحَيْثُ تَلْتَقيانِ هُنالِكَ مَرْكَزُ الثِّقَلِ .

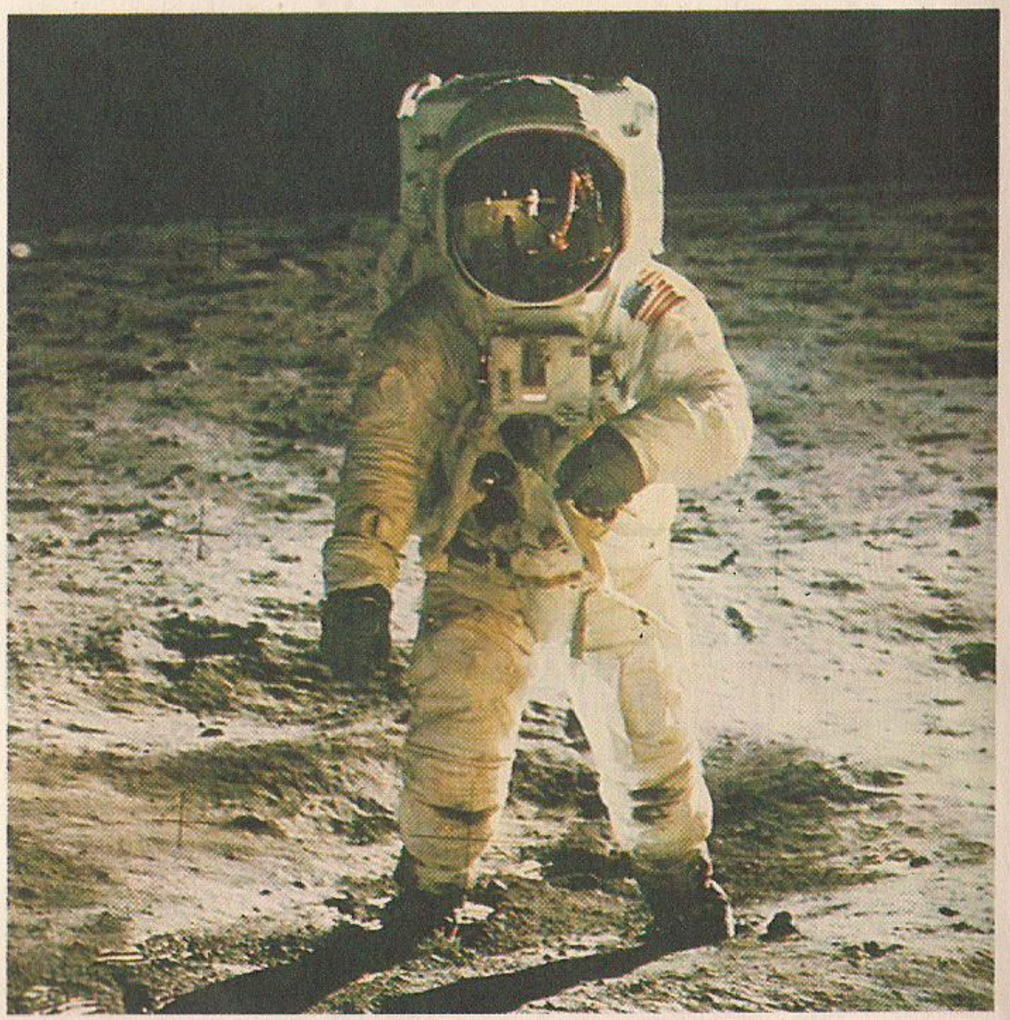
سِرُّ الجاذِبِيَّةِ

كان السِّير إسْحٰق نيوتُن (١٦٤٢ – ١٧٢٧) شَديدَ الاِهْتِمامِ بِكَشْفِ أَسْرارِ الجاذِبِيَّةِ . فَأَثْناءَ دِراسَتِهِ في كيمْبِردج كانَ يُحَيِّرُه بَقاءُ القَمَرِ في مَدارِهِ حَوْلَ الشَّمْسِ لا يَنْفَلِتُ هائمًا في الفَضاءِ . وَيُحْكى أَنَّ الجَوابَ جاءَهُ يَوْمًا وَهُوَ جالِسٌ تَحْتَ شَجَرَةِ تُفّاحٍ إذْ سَقَطَتْ تُفّاحةٌ فَجْأةً فَوْقَ رأْسِهِ .

وَتَساءَل نيوتُن : لِماذا سَقَطَتِ التُّفّاحَةُ؟ لِماذا لَمْ تَطْفُ أُفُقِيًّا ، أَوْ تَصْعَدْ إلى أَعْلى؟ وَبَعْدَ تَفْكيرٍ عَميقٍ تَوَصَّلَ نيوتُن إلى أَنَّ التُّفّاحَةَ سَقَطَتْ بِفِعْلِ جاذِبِيَّةِ الأَرْضِ لَها .

وَوَزْنُ الجِسْمِ إذًا هُوَ مِقْدارُ جَذْبِ الأَرْضِ لَهُ – وَهٰذا الجَذْبُ أَكْثَرُ عَلى الجِسْمِ الثَّقيلِ مِنْهُ عَلى الجِسْمِ الخَفيفِ .

وَالجاذِبِيَّةُ عَلى سَطْحِ القَمَرِ تَبْلُغُ حَوالى سُدْسِ قوَّتِها عَلى سَطْحِ الأَرْضِ . وَلِهٰذا كانَ لا بُدَّ لِرُوّادِ الفَضاءِ مِنْ أَحْذِيَةٍ مُثَقَّلَةٍ تُثَبِّتُ خُطاهُم عَلى سَطحِ القَمَرِ حَيْثُ يَقِلُّ وَزْنُ المَرْءِ سِتَّ مَرّاتٍ .



إدْوين أولْدرين يَمْشي عَلى سَطْحِ القَمَرِ (اِلْتَقَطَ الصّورَةَ نِيل آرمْسترونغ)

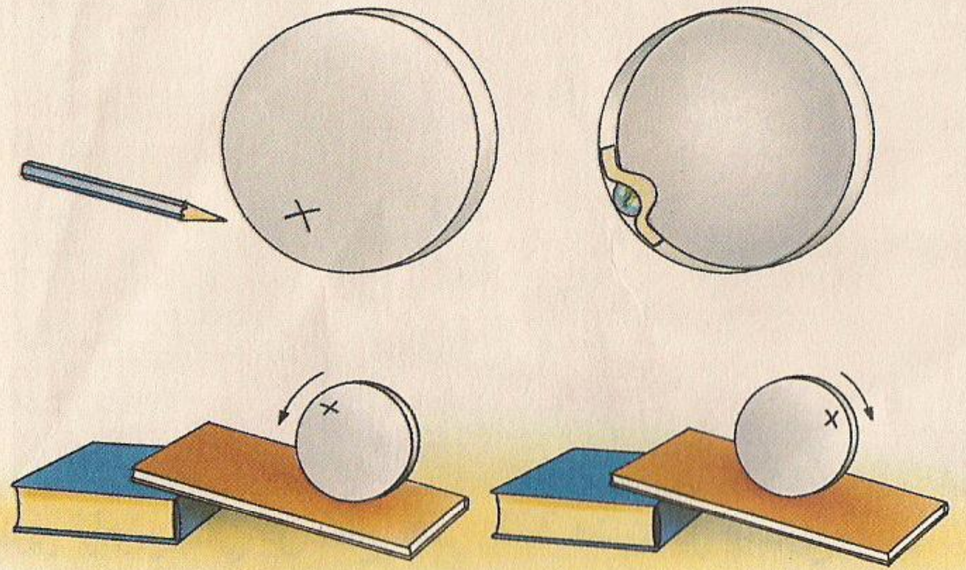
إيجادُ مَرْكَزِ الثِّقَلِ لِلأَجْسامِ غَيْرِ المُنْتَظَمَةِ الشَّكْلِ

اِضْغَطْ طابَةَ تِنِسٍ قَديمَةً في فُوْهَةِ عُلْبَةٍ مَعْدِنِيَّةٍ فارِغَةٍ. اِقْطَعْ أَشْكالًا غَريبَةً وَغَيرَ مُنْتَظَمَةٍ مِنَ الكَرْتونِ أَوْ سِواهُ وَوازِنْها عَلى حَدَبَةِ طابَةِ التِّنِسِ في العُلْبَةِ. وَحَيْثُ يَتَّزِنُ الجِسْمُ يَكونُ مَرْكَزُ ثِقَلِهِ. قَدِّرْ مَرْكَزَ الثِّقَلِ في بَعْضِ الأَشْكالِ ثُمَّ اخْتَبِرْ ذٰلِكَ بِمُوازَنَتِها عَلى تِلْكَ النُّقْطَةِ فَوْقَ طابَةِ التِّنِسِ.

حِيَلٌ بارِعَةٌ سِرُّها مَرْكَزُ الثِّقَلِ

أَحْيانًا لا يَكونُ مَرْكَزُ الثِّقَلِ حَيْثُ تَتَوَقَّعُهُ، وَأَحْيانًا يَغُرَّنَّكَ ما تَراهُ فَيَبْدو لَكَ سُلوكُ الجِسْمِ غَريبًا مُخالِفًا لِسُنَنِ الطَّبيعَةِ. وَالثّابِتُ أَنَّ مَرْكَزَ ثِقَلِ الجِسْمِ يَنْزِعُ إِلى أَنْ يَكونَ أَخْفَضَ ما يَكونُ؛ وَالتَّجْرِبَةُ التّالِيَةُ تُوَضِّحُ لَكَ هٰذِهِ الظّاهِرَةَ.

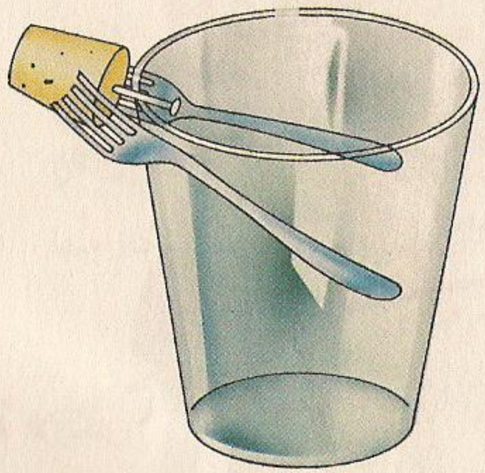
خُذْ عُلْبَةَ جُبْنٍ مُسْتَديرَةً فارِغَةً تَدْرُجُ كالدّولابِ. ثَبِّتْ بِحافَتِها مِنَ الدّاخِلِ كُلَّةَ لَعِبٍ (أَوْ قِطْعَةَ مَعْدِنٍ) بِشَريطٍ لاصِقٍ. عَلِّمْ مَكانَ الكُلَّةِ عَلى العُلْبَةِ مِنَ الخارِجِ ثُمَّ غَطِّها. أَعِدَّ سَطْحًا قَليلَ المَيْلِ بِإِسْنادِ طَرَفِ كِتابٍ رَفيعٍ عَلى آخَرَ، ثُمَّ اتْرُكِ العُلْبَةَ تَدْرُجُ عَلَيْهِ جاعِلًا مَوْقِعَ الكُلَّةِ في الاِتِّجاهِ

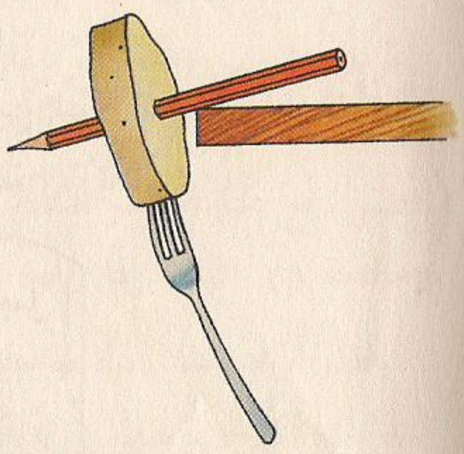


النّازِلِ. طَبْعًا تَدْرُجُ العُلْبَةُ هُبوطًا كَما تَتَوَقَّعُ وَبِقُوَّةٍ مَلْحوظَةٍ. لٰكِنَّكَ حينَ تَضَعُ العُلْبَةَ عَلى أَسْفَلِ المُنْحَدَرِ جاعِلًا مَوْقِعَ الثِّقَلِ الخَفِيِّ في الاِتِّجاهِ الصّاعِدِ، فَإِنَّ العُلْبَةَ سَتَدْرُجُ بِهُدوءٍ وَبُطْءٍ عَلى الكِتابِ المائِلِ صُعودًا! وَفي كِلْتا الحالَتَيْنِ تَدْرُجُ العُلْبَةُ في الاِتِّجاهِ الَّذي يَخْفِضُ مَرْكَزَ الثِّقَلِ. وَفي التَّجْرِبَتَيْنِ التّالِيَتَيْنِ أَيْضًا غَرابَةٌ وَمُتْعَةٌ.

اِقْطَعْ شَريحَةَ بَطاطِسَ بِعَرْضِ ٣ سَنْتيمِتْراتٍ وَاغْرِزْ عَبْرَها قَلَمَ رَصاصٍ حَتّى يَبْرُزَ طَرَفُهُ المُسْتَدِقُّ مِنْها. الآنَ، وَبِعِنايَةٍ، اغْرِزْ في جانِبِ الشَّريحَةِ شَوْكَةَ مائِدَةٍ ثُمَّ رَكِّزِ المَجْموعَةَ عَلى حافَّةِ مِنْضَدَةٍ في وَضْعِ التَّوازُنِ. اُنْقُرِ الشَّوْكَةَ خَفيفًا وَراقِبْها تَتَأَرْجَحُ!

اِغْرِزْ مِسْمارًا في أَعْلى فِلِّينَةٍ ثُمَّ اغْرِزْ في جانِبَيِ الفِلِّينَةِ شَوْكَتَيْ مائِدَةٍ. الآنَ رَكِّزْ ساقَ المِسْمارِ عَلى حافَّةِ كَأْسٍ حَتّى تَتَوازَنَ المَجْموعَةُ! إِنَّ مَرْكَزَ الثِّقَلِ لِلمَجْموعَةِ كُلِّها هُوَ حينَئِذٍ نُقْطَةُ اِرْتِكازِ المِسْمارِ عَلى حافَّةِ الكَأْسِ.

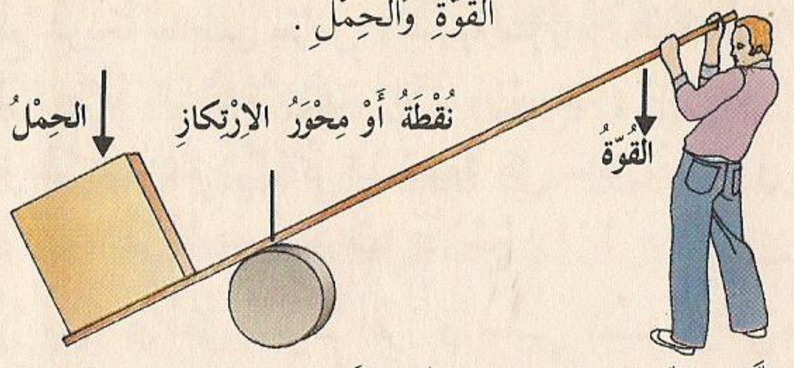




الرَّوافِعُ أَيْضًا – أَنْواعُها وَتَطْبيقاتٌ عَلَيْها

الرّوافعُ هِيَ أَوْسَعُ الآلاتِ شُيوعًا. وَالعُلَماءُ يَصَنِّفونَ الرَّوافِعَ في أَنْواعٍ ثَلاثَةٍ بالنِّسْبةِ لِمَوْقِعِ القُوَّةِ وَالحِمْلِ (المُقاوَمَةِ) وَمِحْوَرِ الارْتِكازِ بَعْضِها مِنْ بَعْضٍ.

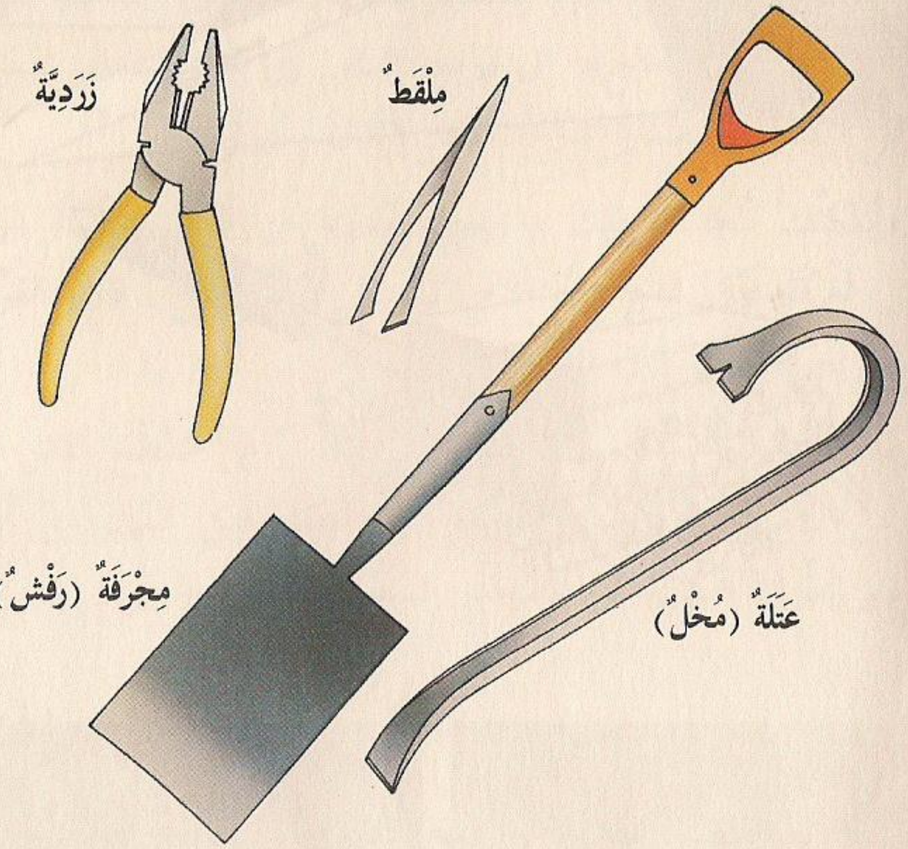
رَوافِعُ النَّوْعِ الأَوَّلِ أَشْيَعُ أَنْواعِ الرَّوافِعِ. مِحْوَرُ الارْتِكازِ بَيْنَ القُوَّةِ وَالحِمْلِ.



رَوافِعُ النَّوْعِ الثّاني في هٰذا النَّوْعِ منَ الرَّوافِعِ يَقَعُ الحِمْلُ (أَوِ المُقاوَمَةُ) بَيْنَ القُوَّةِ وَنُقْطَةِ الارْتِكازِ

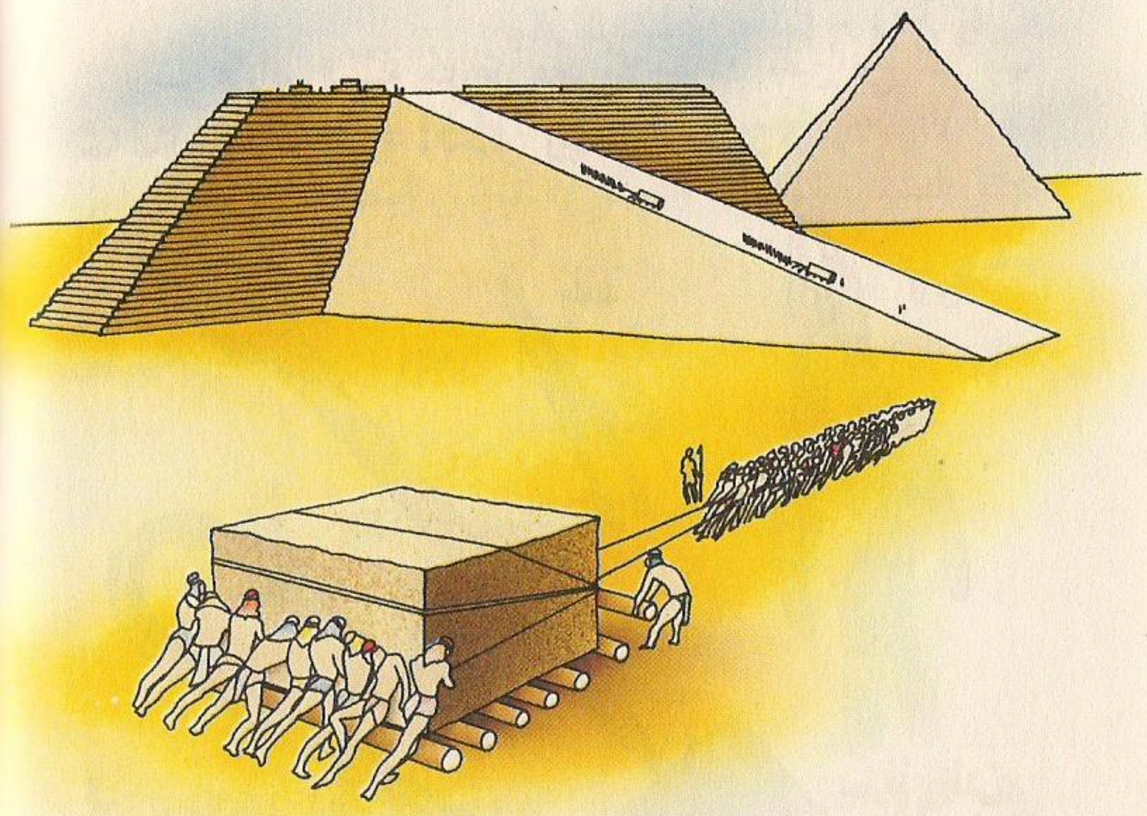
رَوافِعُ النَّوْعِ الثّالِثِ في الرَّوافِعِ مِنَ النَّوْعِ الثّالِثِ تُسَلَّطُ القُوَّةُ بَيْنَ الحِمْلِ وَنُقْطَةِ الارْتِكازِ

أُرْسُمِ الرَّوافِعَ المُبَيَّنَةَ هُنا عَلى دَفْتَرِ مُلاحَظاتِكَ وَعَيِّنْ نَوْعَ كُلٍّ مِنْها بَعْدَ تَحْديدِ مَوْقِعِ القُوَّةِ وَالحِمْلِ وَمِحْوَرِ الارْتِكازِ فيها.



هَلْ خَطَرَ بِبالِكَ أَنَّ البابَ رافِعَةٌ؟ هَلْ لاحَظْتَ أَنَّ القُوَّةَ اللّازِمَةَ لِتَحْريكِ البابِ (فَتْحًا أَوْ إِغْلاقًا) تَزْدادُ كُلَّما اقْتَرَبَتْ أَصابِعُكَ مِنَ المُفَصِّلاتِ؟ إِنَّ القُوَّةَ أَشَدُّ أَثَرًا كُلَّما ابْتَعَدَتْ عَنِ المُفَصِّلاتِ – تَمامًا كما اقْتَضى رفْعُ عُلْبَةِ الثِّقابِ المُثَقَّلَةِ قُوَّةً أَقَلَّ عِنْدَ تَقْريبِ مِحْوَرِ الارْتِكازِ مِنْها (صفحة ٨). البابُ إِذًا رافِعَةٌ، هَلْ تَعْرِف مِنْ أَيِّ نَوْعٍ؟

قالَ أَرْخِميدس مَرَّةً «أَعْطِني مِحْوَرَ ارْتِكازٍ أَسْتَنِدُ إِلَيْهِ وَأَنا كَفيلٌ بِتَحْريكِ الأَرْضِ». ماذا تُراهُ كانَ يَعْني بِذٰلِكَ؟



السَّطْحُ المائلُ

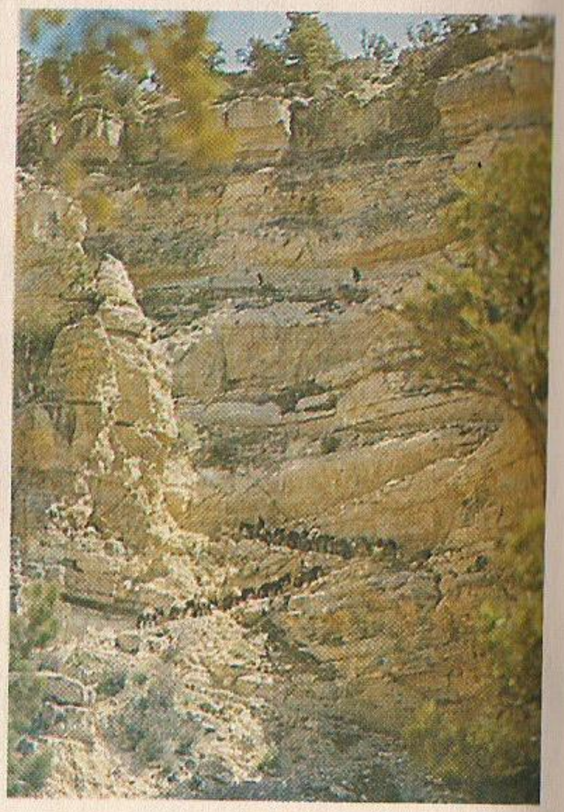
يَسْتَخْدِمُ عُمّالُ البِناءِ وَالمُزارِعونَ عَرَبَةَ اليَدِ وَسَطْحًا مائلًا لِنَقْلِ الخَرَسانةِ أَوِ السَّمادِ أَوْ ما سِوى ذٰلِكَ مِنْ مُسْتَوًى خَفيضٍ إلى آخَرَ أَعْلى. وَكُلَّما قَلَّ مَمالُ السَّطْحِ كانَ الدَّفْعُ (أَوِ الجَرُّ) أَيْسَرَ.

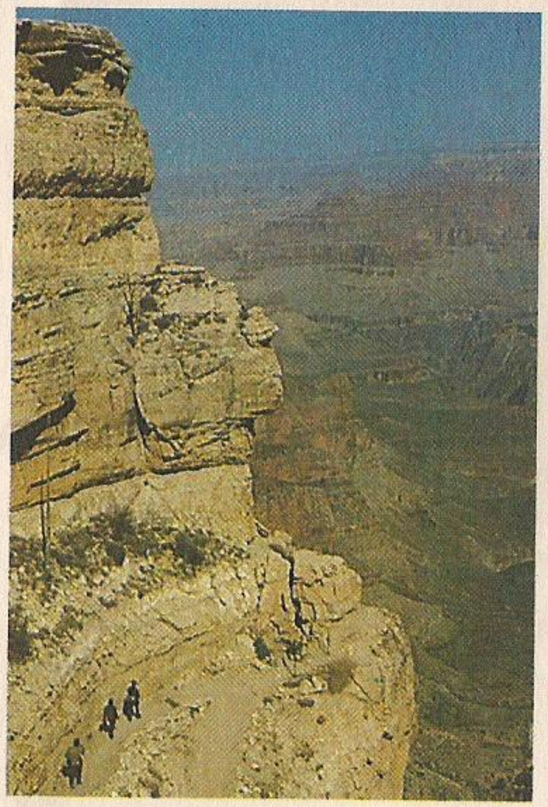
وَلَعَلَّ الفَراعِنَةَ اسْتَخْدَموا السَّطْحَ المائلَ عَلى نِطاقٍ واسِعٍ في تَشْييدِ الأَهْرامِ الشّامِخةِ. إنَّ الهَرَمَ الأَكْبَرَ (هَرَم خوفو) المُشادَ عامَ ٢٦٠٠ ق.م.، وَالبالِغَ ارْتِفاعُهُ ١٤٦ مِتْرًا، يَضُمُّ مِنْ حِجارَةِ البِناءِ الضَّخْمةِ ما يَكْفي لِبِناءِ سورٍ حَوْلَ الأَرْضِ سُمْكُهُ حَجَرٌ وَارْتِفاعُهُ ثَلاثَةُ أَحْجارٍ. وَهٰذا العَدَدُ الهائلُ مِنَ الحِجارَةِ الضَّخْمةِ نُقِلَ وَثُبِّتَ في مَكانِهِ بالقُوَّةِ العَضَلِيَّةِ المُسَخَّرَةِ وَبِمُساعَدةِ الرَّافِعَةِ والسَّطْحِ المائلِ.

وَقَدْ كانَ نَقْلُ هٰذِهِ الحِجارَةِ مِنْ مَحاجِرِها مُشكِلَةً أُخْرى أَمامَ بُناةِ الأَهْرام، فَقَدْ كانَ مِنَ العَسيرِ جَرُّ هٰذِهِ الحِجارةِ الضَّخْمَةِ عَلى أَرْضٍ وَعْرَةٍ. لٰكِنَّهُمْ تَغَلَّبوا عَلى هٰذِهِ المُشْكِلَةِ بِتَدْريجِ الحِجارةِ الضَّخْمَةِ عَلى جُذوعِ الشَّجَرِ مِنْ مَحاجِرِها إلى مَوْقِعِ البِناءِ. وَفي هٰذا المَجالِ تَعْمَلُ الجُذوعُ كَدواليبَ صَغيرةٍ تَدْرُجُ عَلَيْها الأَثْقالُ بِسُهولَةٍ.

وَيُمْكِنُكَ مُحاكاةُ ذٰلِكَ بِتَدريجِ مَجْموعَةٍ مِنَ الكُتُبِ الثَّقيلَةِ عَلى أَرْضِ الغُرْفَةِ فَوْقَ عَدَدٍ مِنْ أَقْلامِ الرَّصاصِ كَدَحاريجَ. قارِنِ القُوَّةَ اللّازِمَةَ لِجَرِّ الكُتُبِ فَوْقَ الأَقْلامِ وَبِدونِها.

وَالطُّرُقُ المُتَعَرِّجَةُ صُعودًا إلى جَبَلٍ هِيَ تَطْبيقٌ عَلى السَّطْحِ المائل – فَإِنَّ مِنَ الأَسْهلِ قَطْعَ مَسافةٍ طَويلَةٍ عَلى مُنْحَدَرٍ قَليلِ المَالِ مِنْ أَنْ نَخْتَصِرَ الطَّريقَ صُعودًا عَلى المُنْحَدَرِ المُنْصَبِّ الشَّديدِ المَيْلِ.

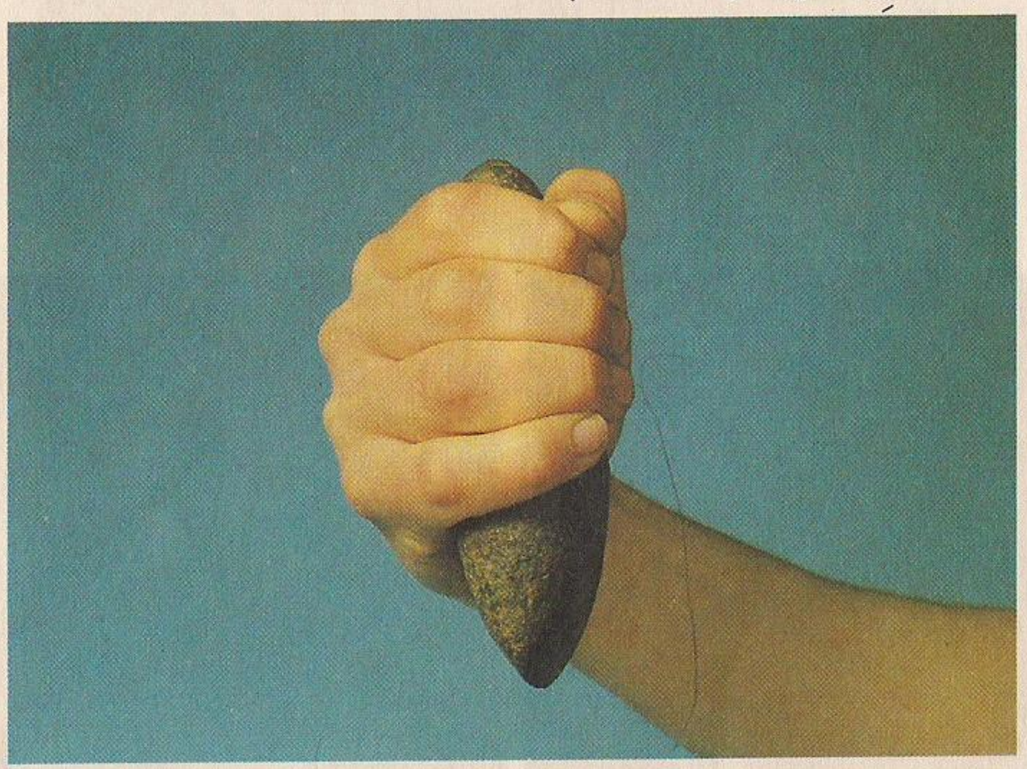




الإسفينُ

كانَ سِلاحَ الإنْسانِ الأَوَّلِ ضَرْبٌ مِنَ الرِّماحِ الخَشَبِيَّةِ يُدَبِّبُ أَطْرافَها وَيُقَسِّيها بالنَّارِ. ثُمَّ أَخَذَ يَصْنَعُ أَدَواتٍ وأَسْلِحَةً بَدائِيَّةً مِنَ الحَجَرِ الصَّوّانِيِّ يَكادُ عُلَماءُ العادِيّاتِ لا يَتَمَيَّزونَها لَوْلا ما يُرافِقُها مِنْ بَقايا العِظامِ في الكُهوفِ الَّتي يَكْتَشِفونَها.

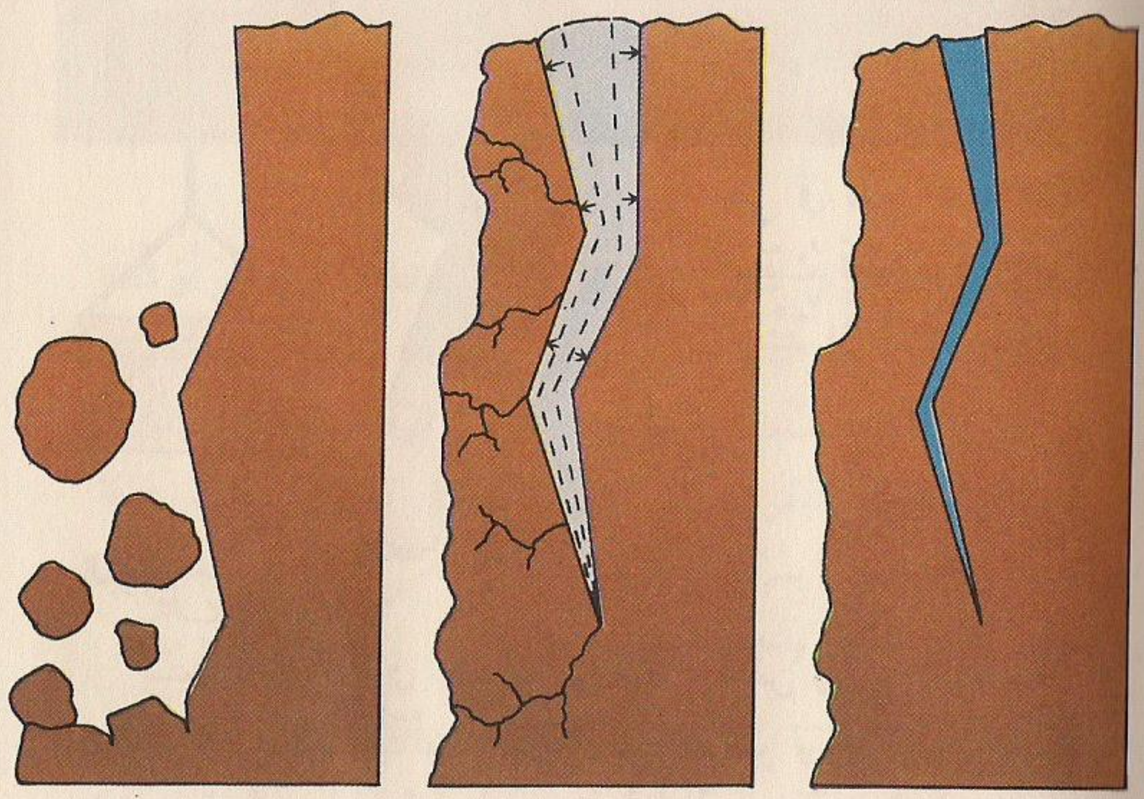
وَما لَبِثَ الإنْسانُ البَدائِيُّ أَنْ تَوَصَّلَ إلى اخْتِراعِ الفأْسِ (البَلْطَةِ)، مُخْتارًا لَها قِطَعًا مِنَ الصَّخْرِ مُلائِمَةً شَحَذَ لَها حَدًّا قاطِعًا. وَظَلَّتِ الفأْسُ اليَدَوِيَّةُ هٰذِهِ سِلاحَ إنْسانِ العَصْرِ الحَجَرِيِّ الفَعّالَ دُهورًا عِدَّةً، تُقَطِّعُ قَبْضَتُهُ بِها صَيْدَه وَتُشَقِّفُ حَطَبَهُ.



وَهٰذِهِ الفأْسُ الإسْفِينِيَّةُ آلَةٌ فَعّالَةٌ، وَبِخاصَّةٍ حينَ تُثَبَّتُ في طَرَفِ عَصًا، تَكْفي الضَّرْبَةُ بِها لِقَتْلِ فريسَةٍ أَوْ تَشقيفِ جِذْعٍ أَوْ تَحطيمِ صَخْرَةٍ. وَالشَّكْلُ الإسْفِينِيُّ يُكْسِبُ الفأْسَ فَعّالِيَّةً لِأَنَّ القُوَّةَ المَبْذولَةَ عَلى

الحَدِّ تَدْفَعُ في اتِّجاهَيْنِ مُتَضادَّيْنِ عِنْدَ دُخولِ الجِسْمِ فَتَفْلِقُهُ. تَفَحَّصْ حَدَّ فأْسٍ وَلاحِظْ تَزايُدَ ثَخانَةِ النَّصْلِ في اتِّجاهِ المِقْبَضِ فَكَأَنَّهُ سَطْحانِ مائِلانِ مُنْضَمّانِ ظَهْرًا لِظَهْرٍ. وَنَذْكُرُ هُنا بالمُناسَبَةِ أَنَّ أَهَمَّ الآلاتِ الإسْفينِيَّةِ هُوَ طَبْعًا المِحْراثُ.

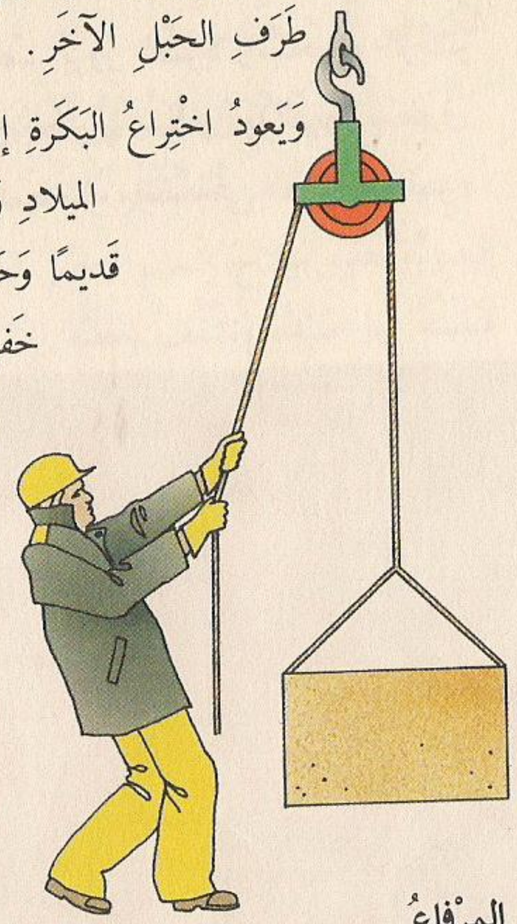
وَقَدِ اسْتَخْدَمَ الصِّينِيّونَ الإسْفينَ لِعَصْرِ بُزُورِ الصُّويا وَاسْتِخْراجِ الزَّيْتِ مِنْها عَنْ طَريقِ ضَغْطِ المِكْبَسِ الَّذي يَحْتَويها بِأَسافينَ يَدُكّونَها بِمَطارِقَ خَشَبِيَّةٍ ضَخْمَةٍ. وَلا تَزالُ بَقايا هٰذِهِ المَعاصِرِ ماثِلَةً حَتّى العَصْرِ الحاضِرِ.



أَسافينُ الطَّبيعةِ: يَتَجَمَّعُ ماءُ المَطَرِ في شُقوقِ الصَّخْرِ. وَفي الطَّقْسِ البارِدِ يَتَجَمَّدُ الماءُ، وَيَتَمَدَّدُ الَّذي يُرافِقُ التَّجَمُّدَ يَفْلِقُ الصُّخورَ.

البَكَرَةُ

البَكَرَةُ آلةٌ ميكانيكِيَّةٌ بَسيطةٌ تتألَّفُ مِنْ دولابٍ مُحَزَّزٍ يَدورُ حَوْلَ مِحْوَرٍ مَرْكَزِيٍّ. وَيَمُرُّ حَوْلَ حَزِّ الدّولابِ حَبْلٌ يَتَدَلّى طَرَفاهُ مِنْ جانِبَيِ البَكَرَةِ. وَيُعَلَّقُ الحِمْلُ مِنْ أَحَدِ طَرَفَيِ الحَبْلِ وَيُرْفَعُ بالشَّدِّ إلى أَسْفَلُ عَلى طَرَفِ الحَبْلِ الآخَرِ.



وَيَعودُ اخْتِراعُ البَكَرَةِ إلى الأَشورِيِّينَ في القَرْنِ التّاسِعِ قَبْلَ الميلادِ وَقَدْ أَدَّتْ خَدَماتٍ جُلّى الى البَنّائينَ قَديمًا وَحَديثًا. فَفي رَفْعِ الأَثْقالِ مِنْ مستوًى خَفيض إلى آخَرَ أعْلى نَسْتَصْعِبُ الرَّفْعَ بالشّدِّ إلى أَعْلى بَيْنَما نَسْتَسْهِلُهُ بالشَّدِّ إلى أَسْفَلُ. وَفائدةُ البَكَرَةِ الجُلّى هِيَ في تَغْيير اتِّجاهِ القُوَّة بِحَيْثُ تَجْعَلُ رَفْعَ الثِّقَلِ بالشَّدِّ إلى أَسفَلُ مُمْكِنًا.

المِرْفاعُ

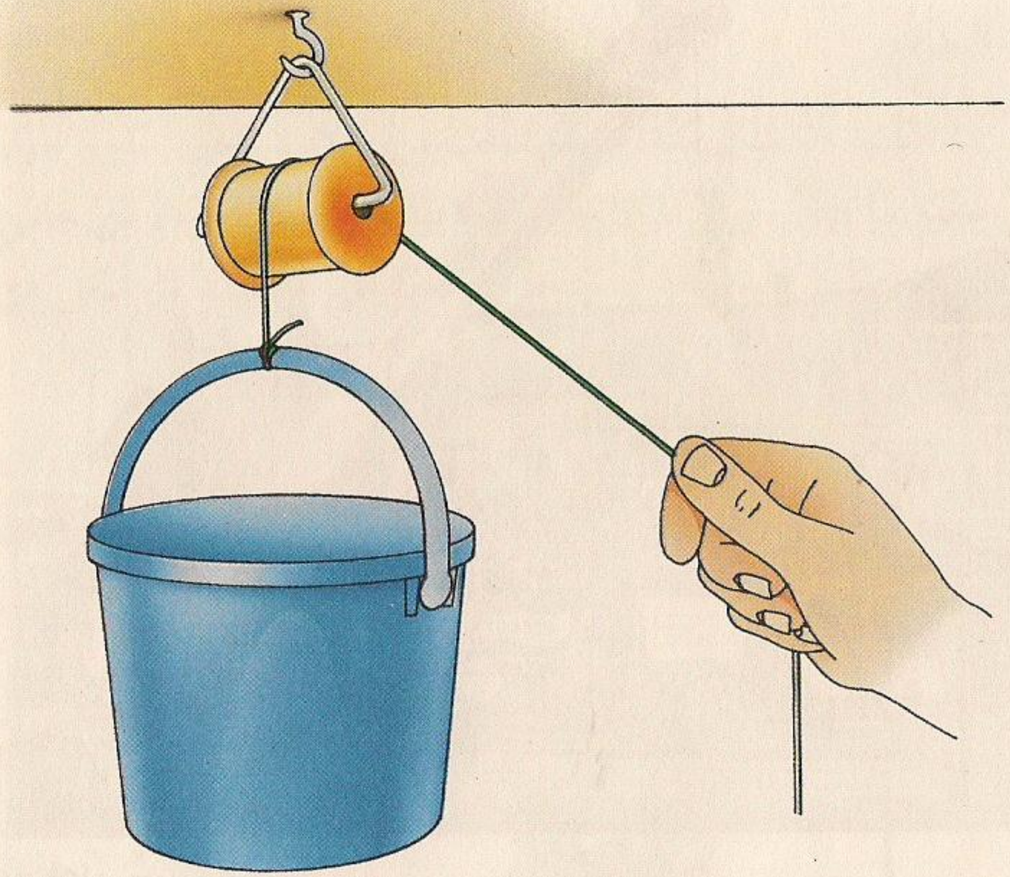
يُسْتَخْدَمُ المِرْفاعُ في المَصانِعِ وأَحْواض السُّفُن وَمَواقِعِ البِناءِ لِرَفْعِ الأَثْقالِ الضَّخْمَةِ. وَيَتَأَلَّفُ المِرْفاعُ مِنْ بَكَراتٍ وَرَوافِعَ، وَفي غالبِيَّةِ المرافيعِ تَعْمَلُ ذِراعٌ مُتَحَرِّكَةٌ كَرافِعةٍ ضَخْمَةٍ يَنْتَهي طَرَفُها بِدولابِ بَكَرةٍ. وَكُلَّما زادَ عَدَدُ البَكَراتِ ازْدادتْ قُدْرَةُ المِرْفاعِ. وَيُساعِدُ مِلْفافُ رَفْعٍ (وِنْشٌ) في جَرِّ كَبْلِ الرَّفْعِ حَوْلَ البَكَراتِ.

المَصاعِدُ

تَتَعَدَّدُ الطَّوابقُ في المَباني الحَديثةِ إنْ كانَتْ فَنادِقَ أَوْ مَتاجِرَ أَوْ شُقَقًا سَكَنِيَّةً. وَلَيْسَ مِنَ اليَسير صُعودُ مئاتِ الدَّرَجاتِ لِلْوُصولِ إلى الطَّوابقِ المُرتَفِعةِ، لِذٰلِكَ يُسْتَعانُ بالمَصاعِدِ. وَتُؤَلِّفُ البَكَراتُ جُزْءًا مُهِمًّا في المَصْعَدِ. فَبِفِعْلِ البَكَراتِ الَّتي يُديرُها مُحَرِّكٌ كَهْرَبائِيٌّ تَصْعَدُ عَرَبَةُ المِصْعَدِ (أَوْ تَهْبِطُ) بِسُرْعَةٍ وَرِفْقٍ فَتُيَسِّرُ تَنَقُّلَ النّاسِ مِنْ أَسْفَلِ المَبْنى إلى أَعْلاه أَوْ بَينَ طابِقٍ وآخَرَ.

آلةُ التَّعْذيبِ

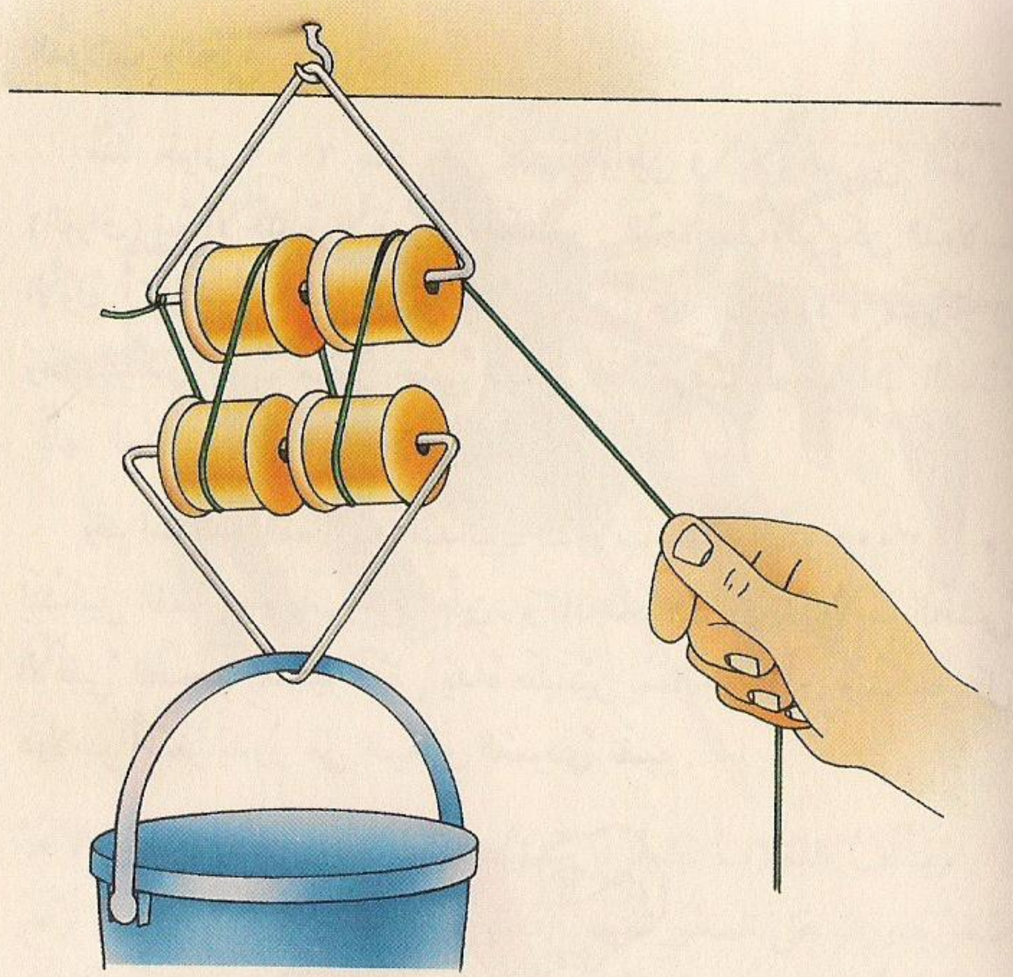
وَلَعَلَّ أَسْوأَ ما اسْتُخْدِمَتْ فيه البَكَراتُ آلةُ التَّعْذيبِ. وَفيها كانَتْ توثَقُ أَطْرافُ المُتَّهَمِ التَّعيسِ بالحِبالِ، ثُمَّ تُشَدُّ بالبَكَراتِ وَالرَّوافِعِ حَتّى تَتَخَلَّعَ مَفاصِلُهُ. وَقَدْ كانَ بُرْجُ لَنْدَنَ في عَهْدِ آلِ تِيودور مَسْرَحًا لِمِثْلِ هٰذا التَّعْذيبِ.



اِخْتِباراتٌ تَطْبيقِيَّةٌ على البَكَراتِ

لِصُنْعِ بَكَرةٍ بَسيطَةٍ يَلْزَمُكَ مِكَبٌّ خُيوطٍ وَسِلْكٌ رَفيعٌ وَحَبْلٌ وَخُطَّافٌ بَريمِيٌّ . اِثْنِ حَوالى ٢٠ سَنْتيمِتْرًا مِنَ السِّلْكِ عَلى شَكْلِ إطار مُثَلَّثِيٍّ وَأَدْخِلْ طَرَفَيِ الضِّلْعِ الثّالِثِ في مِكَبِّ الخُيوطِ لِيَدورَ عَلَيْهِ . ثَبِّتِ الخُطَّافَ البَريمِيَّ في مَدْخَلِ الكَراجِ (بَعْدَ اسْتِئْذانِ والِدَيْكَ) وَعَلِّقْ بِهِ إطارَ البَكَرةِ . عَلِّقْ مِنْ أَحَدِ طَرَفَيِ الحَبْلِ سَطْلًا وَأَمْرِرْ طَرَفَهُ الآخَرَ حَوْلَ المِكَبِّ وَشُدَّ ، فَيَرْتَفِعَ السَّطْلُ .

في هٰذه الحالِ تَكونُ القُوَّةُ اللّازِمةُ لِرَفْعِ الحِمْلِ مُساويةً لِوَزْنِهِ . وَفائِدةُ البَكَرةِ هُنا هِيَ في تَغْيِيرِ اتِّجاهِ القُوَّةِ بِحَيْثُ نَشُدُّ إلى أَسْفَلُ لِرَفْعِ الحِمْلِ إلى أَعْلى .



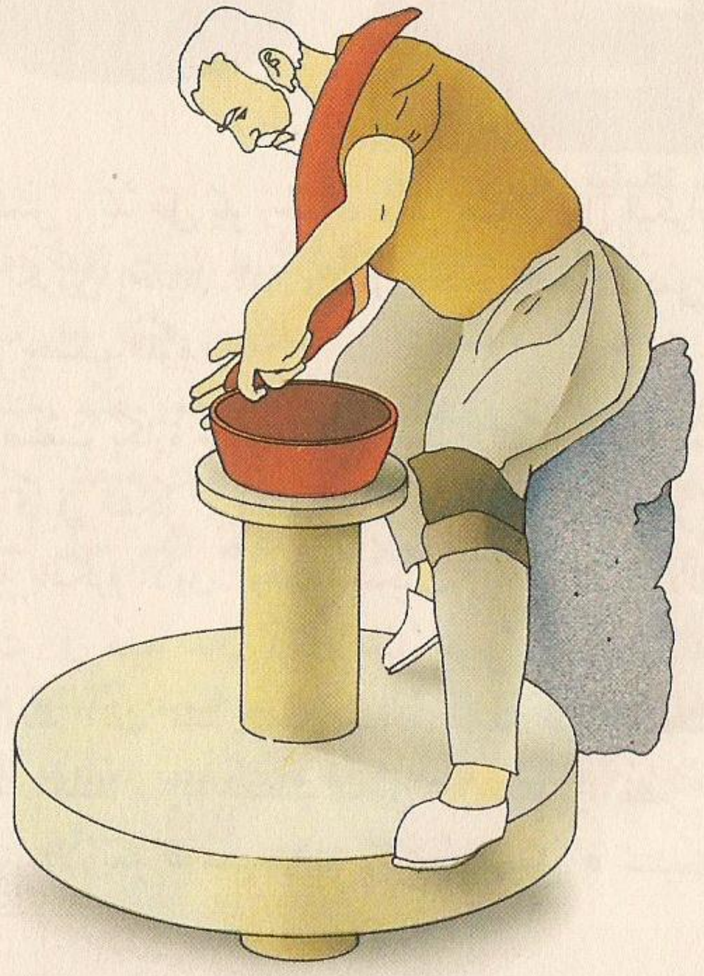
يَقولُ المَثَلُ : يَدٌ عَلى يَدٍ رَحْمَةٌ ، وَهٰذا يَصْدُقُ عَلى البَكَراتِ . فإذا اسْتَخْدَمْتَ بَكَرَتَيْن إحْداهُما ثابِتةٌ وَالأُخْرى مُتَحرِّكَةٌ مَعَ الحِمْلِ أَمْكَنَكَ رَفْعُ الحِمْلِ بِنِصْفِ القُوَّةِ .

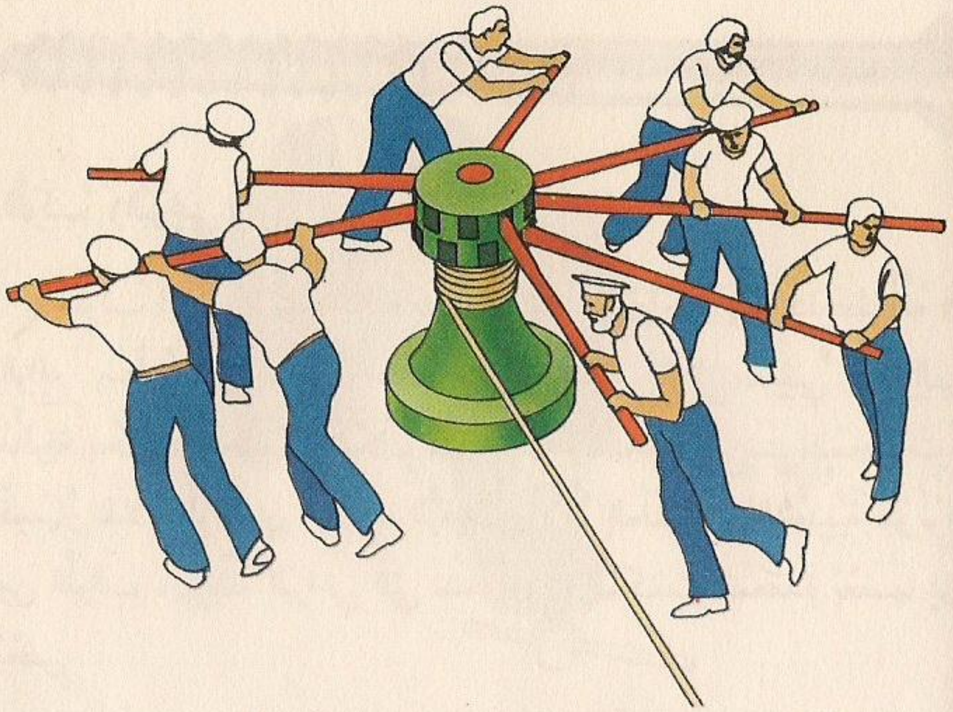
أَمَّا إذا صَنَعْتَ بَكّارةً مُزْدَوِجَةً ذاتَ مِكَبَّيْن ثابِتَيْن وآخَرَيْن مُتَحرِّكَيْن مَعَ الحِمْلِ كَما في الشَّكْلِ ، فباسْتِطاعَتِكَ حِينَئِذٍ رَفْعُ الحِمْلِ بِرُبْعِ القُوَّةِ اللّازِمَةِ لِرَفْعِهِ بالبَكَرةِ الأُولى . وَهٰكَذا يُمْكِنُكَ زِيادة كَفاءَةِ الآلَةِ بِزيادةِ عَدَدِ البَكَراتِ . في هٰذِهِ الحالِ يَلْزَمُكَ حَبْلٌ طَويلٌ لِيَدورَ حَوْلَ المِكَبّاتِ الأَرْبَعةِ . لاحِظْ أَنَّكَ تَشُدُّ الحَبْلَ مَسافَةً طَويلَةً فَيَرْتَفِعُ الحِمْلُ رُبْعَ المَسافةِ فَقَطْ . فَمَثَلًا ، إذا شَدَدْتَ الحَبْلَ ٢٠ سَنْتيمِتْرًا يَقْصُرُ كُلٌّ مِنْ خُيوطِ التَّعْليقِ الأَرْبَعةِ ٥ سَنْتيمتراتٍ وَيَرْتَفِعُ الحِمْلُ ٥ سنتيمتراتٍ .

الدُّولابُ والجُزْع

مُنْذُ حَوالى ٦٠٠٠ سنةٍ وَعَلى يَدَيْ مُواطِنٍ في بلادِ ما بَيْنَ النَّهْرَيْنِ (العِراقِ) تَمَّ الاِخْتِراعُ الأَهَمُّ عَبْرَ العُصورِ : الدّولاب . وَلَمْ يَكُنِ الدّولابُ الأَوَّلُ أَكْثَرَ مِنْ كُتْلَةٍ خَشَبِيَّةٍ مُدَوَّرةٍ ، مِنْ جِذْعِ شَجَرةٍ ، مَثْقوبَةٍ في وَسَطِها لِتَدورَ حَوْلَ مِحْوَرٍ خَشَبِيٍّ ثابتٍ . وَقَدْ عَرَفَتِ الحَضاراتُ البَدائِيَّةُ كُلُّها الدولابَ عَدا الهُنودَ الأَمْريكِيِّينَ .

وَقَدِ اسْتَخْدَمَ الفَخّارِيّونَ البَدائيّونَ الدّولابَ حَوالى السَّنَةِ ٣٠٠٠ ق.م. لِتَشْكيلِ القدورِ والأَوانِي مِنَ الطِّينِ . وَكانَ الخَزّافُ يُديرُ الدّولابَ الخَشَبِيَّ الأُفُقِيَّ الضَّخْمَ بِقَدَمَيْهِ فَتَبْقى يَداهُ طَليقَتَيْنِ لِمُعالَجةِ الطِّينِ وَتَشْكيلِهِ عَلى دولابٍ أَصْغَرَ يَدورُ عَلى المِحْوَرِ العَموديِّ نفْسِهِ .

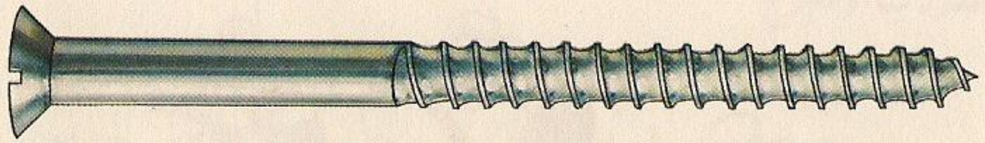




وَيَتَأَلَّفُ الدّولابُ وَالجُزْعُ مَبْدَئِيًّا مِنْ دولابَيْنِ أَحَدُهُما كَبيرٌ وَالآخَرُ صَغيرٌ يَدورانِ عَلى المِحْوَرِ نَفْسِهِ . فَالقُوَّةُ القَليلَةُ عَلَى الدّولابِ الكَبيرِ تَرْفَعُ حِمْلًا ثَقيلًا عَلى الدّولابِ الصَّغيرِ (وَلٰكِنَّها طَبْعًا تَعْمَلُ مَسافَةً تُساوي مُحيط الدّولابِ الكَبيرِ لِتَرْفَعَ الثِّقْلَ مَسافَةَ مُحيطِ الدّولابِ الصَّغيرِ) .

أَمّا مِلْفافُ الرَّفْعِ المُسْتَخْدَمُ تَقْليدِيًّا لِرَفْعِ الماءِ مِنَ الآبارِ فَيَجْمَعُ بَيْنَ البَكَرةِ وَبَيْنَ الدّولابِ وَالجُزْعِ في آلةٍ ميكانيكيَّةٍ واحِدةٍ . وَمِثْلُهُ أَيْضًا الرَّحَويَّةُ المألوفَةُ عَلى سُطوحِ السُّفُنِ وَأَحْواضِ المَرافِئِ لِرَفْعِ الأَثْقالِ أَوْ سَحْبِ المَراسي . وَكانَتِ الرَّحَويّاتُ الأُولى تُصْنَعُ مِنَ الخشبِ وَيُديرُها البَحّارةُ بِقُضْبانٍ أُفقيَّةٍ حَوْلَ قُرْصِ الرَّحَويَّةِ .

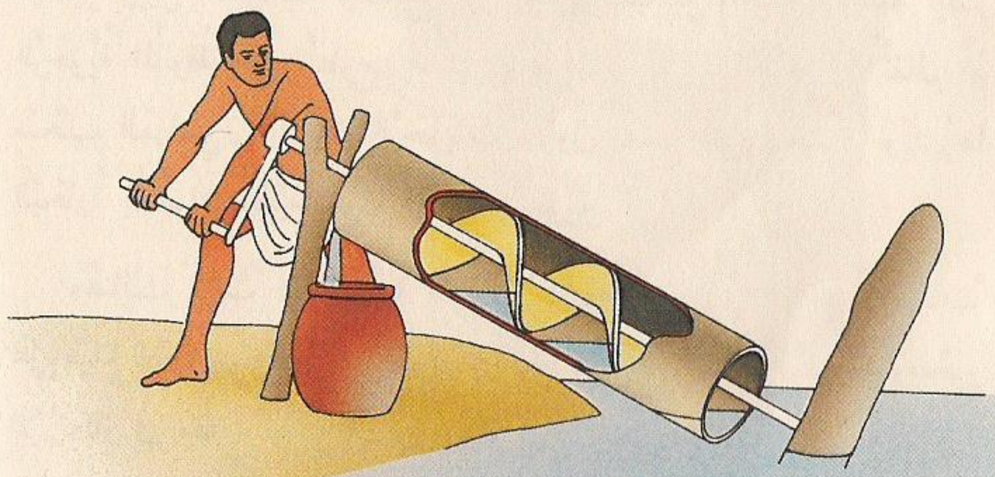
وَهُنالِكَ آلاتٌ نَسْتَخْدِمُها كَرَوافِعَ دَوّارةٍ وَهِيَ في الواقِعِ تَطْبيقاتٌ عَلى مَبْدإِ الدّولابِ وَالجُزْع . حاوِلْ أَنْ تُحَدِّدَ مَواقِعَ القُوَّةِ وَالمُقاوَمَةِ وَمِحْوَرِ الاِرْتِكازِ في مِفْتاحِ بابٍ أَوْ في مِفَكِّ بَراغٍ مَثَلًا .

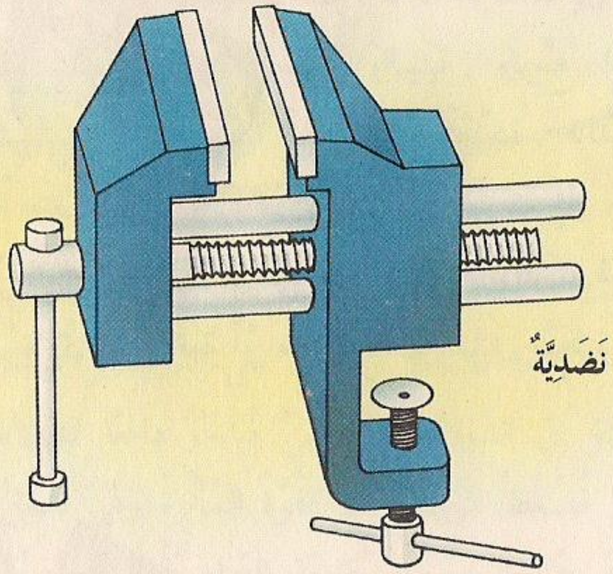


اللَّوْلَبُ (البُرْغِي)

اللَّوْلَبُ أَيْضًا آلةٌ ميكانيكيَّةٌ بَسيطَةٌ . تَفَحَّصْ واحِدًا مِنْها فَتَلْحَظ أَنَّهُ في الواقِعِ سَطْحٌ مائلٌ مُلْتَفٌّ حَوْلَ أُسْطُوانَةٍ أَوْ مَخْروطٍ مَعْدِنِيٍّ . وَاللَّوالِبُ مأْلوفة بِحُجومٍ مُخْتَلِفَةٍ وأشكالٍ مُتَفاوِتَةٍ ، وَتُسْتَخْدَمُ في شَتّى المَجالاتِ . فَمِسْمارُ القَلاووظِ الَّذي نُثَبِّتُ بِهِ الرُّفوفَ وَالأُطُرَ الخَشَبِيَّةَ أَوِ المَعْدِنِيَّةَ هُوَ نَوْعٌ مِنَ اللَّوالِبِ ، وَمِثْلُهُ البَراغي الَّتي تَشُدُّ أَجْزاءَ المَكاناتِ المُعَقَّدةِ بَعْضَها إلى بَعْضٍ .

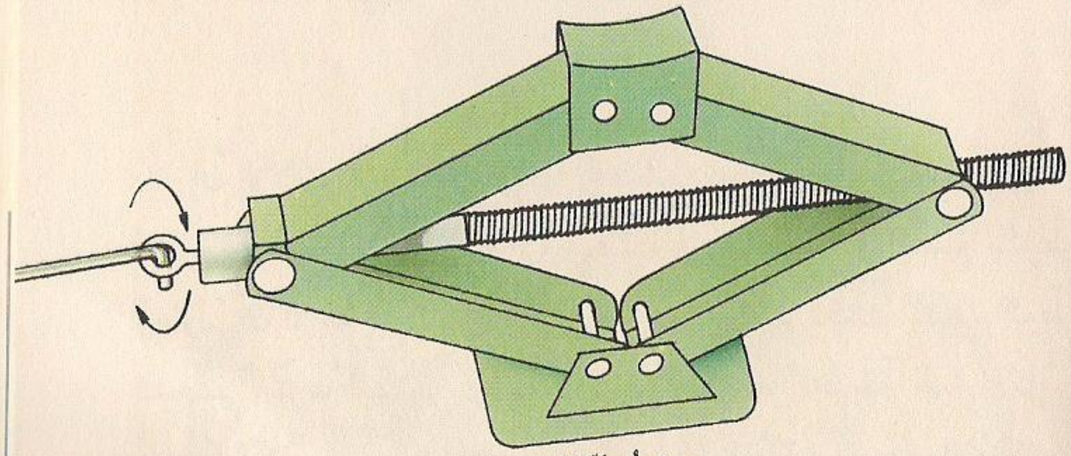
وَمِنْ أُولى المكَناتِ اللَّوْلَبِيَّةِ المُخْتَرَعَةِ لَوْلَبُ أَرْخميدس (٢٨٧ – ٢١٢ ق . م .) العالِمِ الرِّياضِيِّ الشَّهير ، وَكانَ قَدْ صَمَّمه لِنَزْحِ الماءِ مِنْ سَفينةٍ ضَخْمَةٍ لإمْبراطور سيراقُوسَة ، ثُمَّ استُخْدِمَ لِرَفْعِ الماءِ مِنْ ساقِيةٍ أَوْ نَهْرٍ لِلرِّيِّ . وَيَتَأَلَّفُ اللَّوْلَبُ مِنْ حَلَزونٍ يُدارُ حَوْلَ مِحْوَرٍ داخِلَ أُسْطُوانةٍ مائلةٍ فَتَحْمِلُ أَرْياشُ الحَلَزونِ الماءَ مَعَها إلى فُوْهَةِ اللَّوْلَبِ .





مِلْزَمَةٌ نَضَدِيَّةٌ

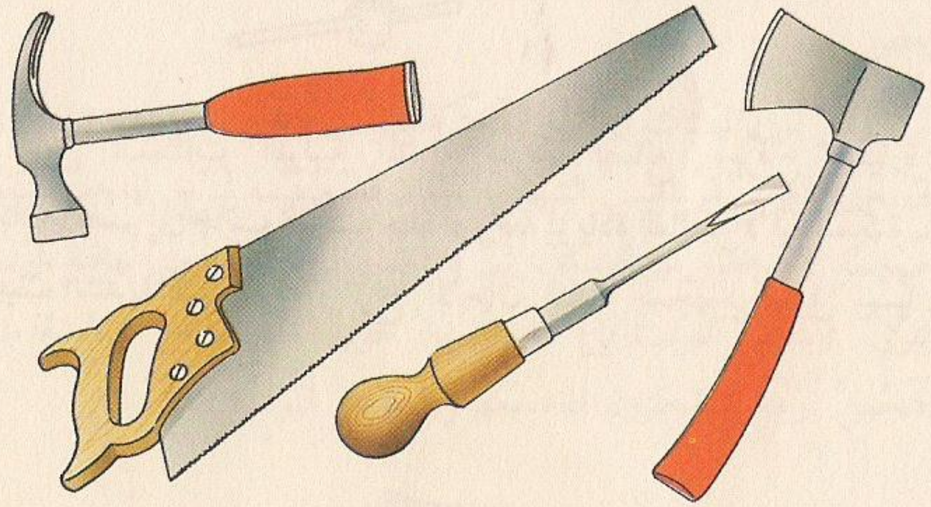
وَمِنَ المَكَناتِ اللَّوْلَبِيَّةِ المأْلوفةِ مِلْزَمَةُ الصّانِعِ وَمِرْفاعُ السَّيّارةِ . وَكِلاهُما يَضُمُّ إلى جانِبِ اللَّوْلَبِ عَتَلَةً أَوْ رافِعَةً لِزِيادَةِ الفائِدَةِ الآلِيَّةِ للمَكَنَةِ ، بِحَيْثُ تَشُدُّ المَكَنَةُ بِقُوَّةٍ أَوْ تَرْفَعُ الأَحْمالَ الثَّقيلَةَ بِمَجْهودٍ ضئيلٍ نِسْبِيًّا .



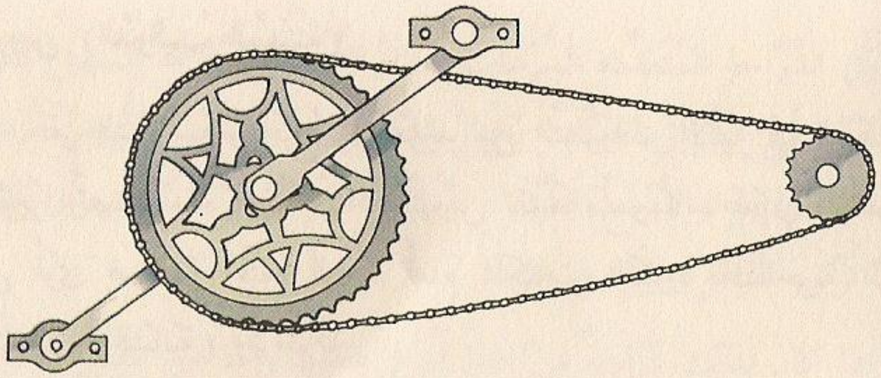
مِرفاعُ سَيّارةٍ
(يُثَبَّتُ تَحْتَ المِحْوَرِ لِرَفْعِها)

كَيْفَ تَعْمَلُ الآلاتُ

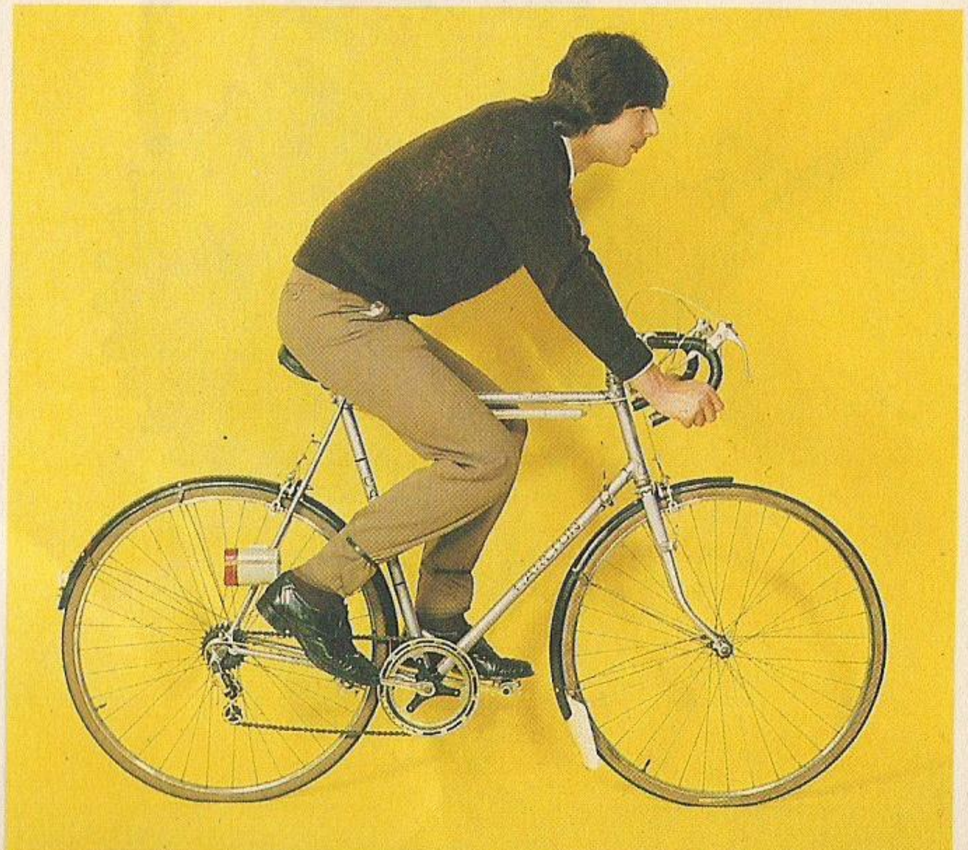
الحاجَةُ أُمُّ الاِخْتِراع ، فَقَدْ دَعَتِ الحاجَةُ الإنْسانَ إلى اخْتراعِ آلاتٍ أَساسِيّةٍ بَسيطَةٍ لِتَدْبير أُمورِهِ المَعيشِيَّةِ وَالبيئِيَّةِ. وَتَوسَّعَ اسْتِخْدامُ هٰذِهِ الآلاتِ وَانْتَشَرَتْ وَطَرأَتْ عَلَيْها تَحسيناتٌ مُتَعَدِّدةٌ. فالدَّواليبُ تَغيَّرتْ وَتَنَوَّعَتْ مادّةً وتَصْميمًا ، وَالرَّوافِعُ وَالبَكَراتُ طُوِّرَتْ إلى مَكَناتٍ مُعَقَّدَةٍ فَعّالَةٍ – لٰكِنْ ظَلَّتِ الآلةُ تَعْتَمِدُ عَلى طاقةِ الإنْسانِ وَقُدْرَتِهِ العَضَلِيَّةِ. فالآلةُ تُغَيِّرُ مَوْقِعَ القُوَّةِ كَما في الرّافِعةِ أَوْ تُغيِّرُ اتِّجاهَها كَما في البَكَرةِ فَتُسَهِّلُ العَمَلَ أَوْ تُسَرِّعُهُ.



إنَّ الآلاتِ الَّتي تَراها حَوْلَكَ في المَنْزِل أَوِ المَطْبَخِ عَلى بَساطَتِها كافِيةٌ لإثارةِ إعْجابِ الإنْسانِ البَدائِيِّ وَدَهْشَتِهِ. دُقَّ مِسمارًا في خَشَبَةٍ بالمِطْرَقَةِ وَحاولْ أَنْ تَنْزِعَهُ بِيَدِكَ. إنَّ ذٰلِكَ يَبْدو مُسْتَحيلًا ، لٰكِنَّكَ بِطَرَفِ المِطْرَقَةِ المِخْلَبِيِّ تَنْزِعُهُ بِسُهولَةٍ وَيُسْرٍ. حاولْ أَنْ تُحَلِّلَ طَريقَةَ عَمَلِ كُلِّ آلةٍ مُحدِّدًا لِكُلٍّ مِنْها مَوْقِعَ القُوَّةِ وَالحِمْلِ (المُقاوَمَةِ) وَمِحْوَرِ الاِرْتِكازِ.



وَمِنَ المَكَناتِ المُعَقَّدَةِ الَّتي تَعْتَمِدُ عَلى الطّاقةِ العَضَلِيَّةِ الدَّرّاجَةُ. فَعِنْدَما تَرْكَبُ الدَّرّاجَةَ تَضْغَطُ رِجلاكَ عَلى الدَّوّاسَتَيْن فَيَنْتَقِلُ الشَّدُّ عَبْرَ التُّروسِ وَالسِلْسِلَةِ إلى الدَّولابِ الخَلْفِيِّ فَيَدورُ دافِعًا الدَّولابَ الأَمامِيَّ وَالدَّرّاجَةَ قُدُمًا. فَضَغْطُ الرِّجْلَيْنِ هُوَ القُوَّةُ المُؤَثِّرَةُ وَهْيَ تَعْمَلُ في مُجابَهةِ الحِمْلِ الَّذي هُوَ هُنا مَزيجٌ مِنْ مُقاومَةِ الهَواءِ وَقُوى الجاذِبِيَّةِ وَالاِحْتِكاكِ بَيْنَ الأَجْزاءِ المُتَحرِّكَةِ – وَبِخاصَّةٍ بَيْنَ الإطارَيْن والأَرْضِ. إنَّ رُكوبَ الدَّرّاجةِ مِنْ مَدينَةٍ إلى أُخْرى مُتْعِبٌ وَلٰكِنَّهُ أَسْهَلُ مِنَ السَّيْرِ وَأَسْرَعُ.

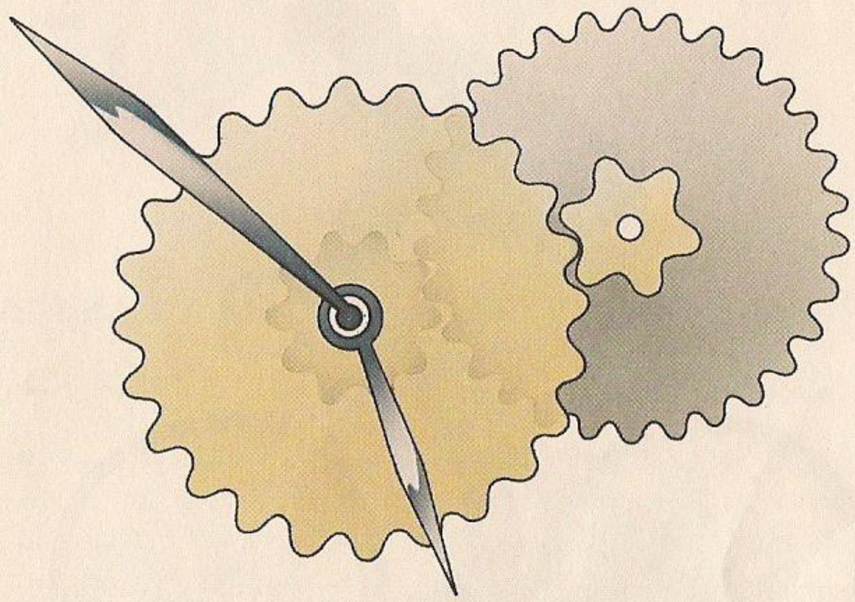


التُّروسُ (الدَّواليبُ المُسَنَّنَة)

حَفَزَ الدّولابُ وَالجُزْعُ إلى مَزيدٍ مِنَ التَّطَوُّراتِ الآلِيَّةِ في المَكناتِ تَحْويرًا وَتَصاميمَ. وَكانَ اخْتِراعُ التّروسِ تقدُّمًا مَلْموسًا ساعَدَ في الحُصولِ عَلى قُوًى ضَخْمَةٍ وَفَتَحَ البابَ أَمامَ المكناتِ الكَبيرةِ كَطاحونَةِ الهَواءِ وَالنّاعورةِ (السّانِيَةِ) وَالرَّحَويَّةِ.

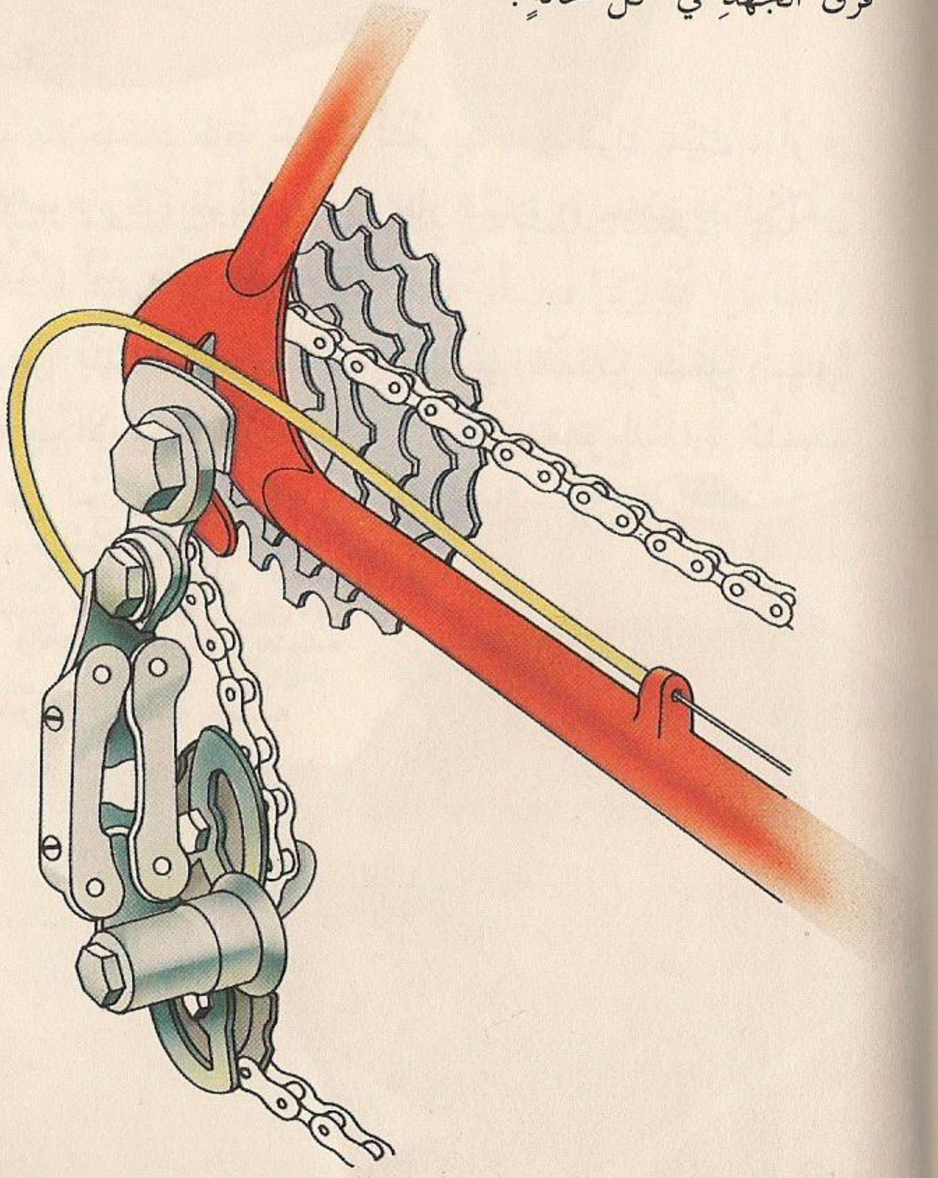
تَعْمَلُ التُّروسُ عَلى جَعْلِ الأَجْزاءِ المُخْتَلِفةِ مِنَ الآلةِ تَدورُ بِسُرْعاتٍ مُخْتَلِفةٍ أَوْ تَتحرَّكُ باتِّجاهاتٍ مُخْتَلِفةٍ. فَفي التُّرسَيْنِ المُتَعَشِّقَيْن (أَوِ المَوْصولَيْن بسِلْسِلةٍ) يَدورُ الواحِدُ باتِّجاهٍ مُعاكِسٍ لِلآخَرِ، وَيَدورُ التُّرْس ذو الأَسْنانِ الأَقَلِّ بِسُرْعةٍ أَكْثَرَ.

وَفي السّاعاتِ التَّقْليدِيَّةِ تُنَظَّمُ التُّروسُ بِحَيْثُ تُدَوِّرُ عَقارِبَ السّاعةِ بِسُرْعاتٍ مُتَفاوِتَةٍ. فَفي الوَقْتِ الذي يُدورُ فيه عَقْرَبُ الدَّقائق حَوْلَ مِيناءِ السّاعَةِ دَوْرَةً يَدورُ عَقْرَبُ السّاعاتِ ١/١٢ مِنَ الدَّوْرةِ فَقَطْ.



وَفي الدَّرّاجةِ المُتَعَدِّدةِ السُّرْعاتِ تُخْتارُ التُّروسُ المُلائمةُ لِتَسْهيلِ تَسْيير الدَّرّاجَة. فَفي الطَّريقِ الصّاعِدِ يَخْتارُ الدَّرّاجُ مِنْ مَجْموعةِ التُّروسِ تُرْسَ السُّرْعةِ الخَفيفةِ (الأَوْسَعَ قُطْرًا)، بَيْنَما يَخْتارُ لِلطَّريقِ المُسْتَوي أَوِ المائلِ نُزولًا تُرْسَ سُرْعةٍ عالِيةٍ.

إذا كانَ لَدَيْكَ دَرّاجةٌ مِنْ هٰذا النَّوْعِ فاقْلِبْها رأْسًا عَلى عَقِبٍ وَلاحِظْ كَيْفَ يَعْمَلُ تُرْسُ الدّوّاسَتَيْنِ عَبْرَ السِّلْسِلَةِ عَلى تَحْريكِ أَحَدِ مَجْموعَةِ التُّروسِ المُثْبَتَةِ في الدُّولابِ الخَلْفِيِّ. غَيِّرِ السُّرْعَةَ وَلاحِظْ فَرْقَ السُّرْعةِ و/أَوْ فَرْقَ الجُهْدِ في كُلِّ حالَةٍ.

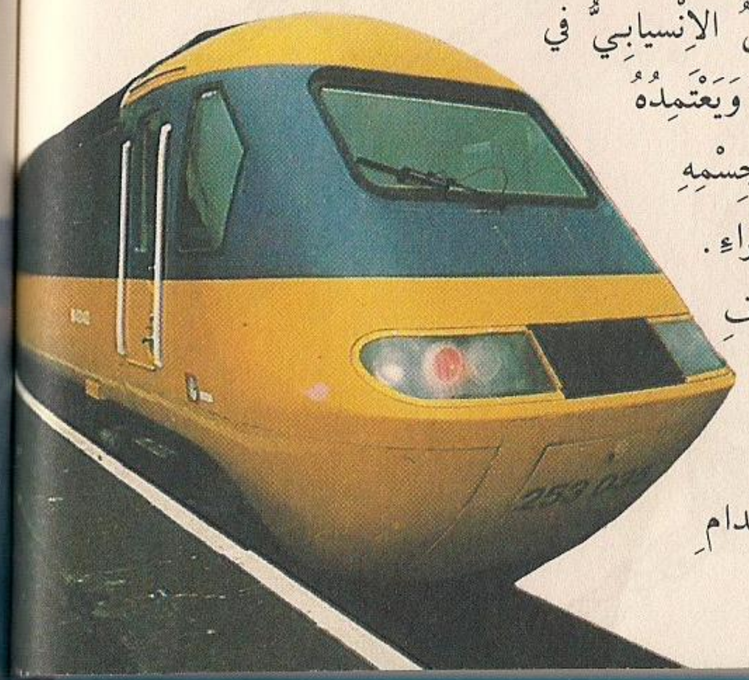


الاحْتِكاكُ

الاِحْتِكاكُ هُوَ مُشْكِلَةُ كُلِّ آلةٍ ، فَهُوَ المُقاوَمَةُ النّاشِئةُ عَنْ حَرَكَةِ انْزِلاقِ سَطْحٍ عَلى سَطْحٍ آخَرَ. فالاِحْتِكاكُ يُقاوِمُ حَرَكَةَ راكِبِ الدَّرّاجَةِ وَهُوَ مُنْطَلِقٌ بِها في الطَّريق كَما يُقاوِمُ دُروجَ الإطارَيْن عَلى الأَرْضِ وَدُروجَ مُخْتَلِفِ الأَجْزاءِ المُتحرِّكةِ بَعْضِها عَلى بَعْضٍ. وَتَتَوَقَّفُ قِيمةُ الاِحْتِكاكِ عَلى عِدَّةِ عَوامِلَ أَهَمُّها طَبيعةُ السَّطْحَيْن وَدَرَجةُ خُشونَتِهِما وَمِقْدارُ القُوّةِ المؤَثِّرة في تَحريكِها. أَمْرِرْ إِصْبَعَك بِضَغْطٍ مُتَفاوِتٍ عَلى لَوْحِ زُجاجِ النّافِذةِ ثُمَّ عَلى سَطْحِ وَرَقِ السَّنْفَرةِ (وَرَقِ الزُّجاجِ) وَلاحِظِ الفَرْقَ في مِقْدارِ الاِحْتِكاكِ .

وَتَتَوَلَّدُ بالاِحْتِكاكِ طاقةٌ حَراريَّة تَشْعُرُ بِها حينَ تَفْرُكُ يَدَيْك ، أَوْ في مِحْوَرِ دولابٍ دارَ مُدّةً طَويلَةً ، أَوْ في إطارِ السَّيّارةِ (وَبِخاصّةٍ إِنْ لَمْ يَكُنْ مَنْفوخًا جيِّدًا) بَعْدَ سَفْرةٍ عَلى طَريقٍ خَشِنٍ.

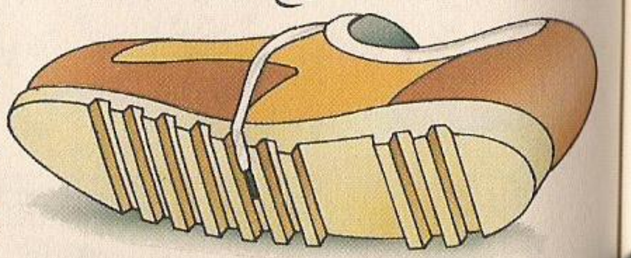
وَيَحْرِصُ عُلَماءُ الفَضاءِ عَلى تَصْميمِ السُّفُنِ الفَضائيَّةِ بِشَكْلٍ انْسِيابِيٍّ مَشيق يُخَفِّفُ الاِحْتِكاكَ ، وَيَبْنونَها مِنْ مَوادَّ صامِدةٍ لِلحَرارة الشَّديدة المُتَولِّدةِ عَن احْتِكاكِها بالهَواءِ عِنْدَ عَوْدَتِها إلى جَوِّ الأَرْضِ. وَيُلاحَظُ الشَّكْلُ الاِنْسيابِيُّ في السَّيّاراتِ وَالقُطُرِ الحَديثَةِ وَيَعْتَمِدُهُ راكِبُ الدَّرّاجَةِ بِلَمْلَمةِ جِسْمِهِ وثِيابِهِ لِتَفادي مُقاوَمَةِ الهَواءِ.



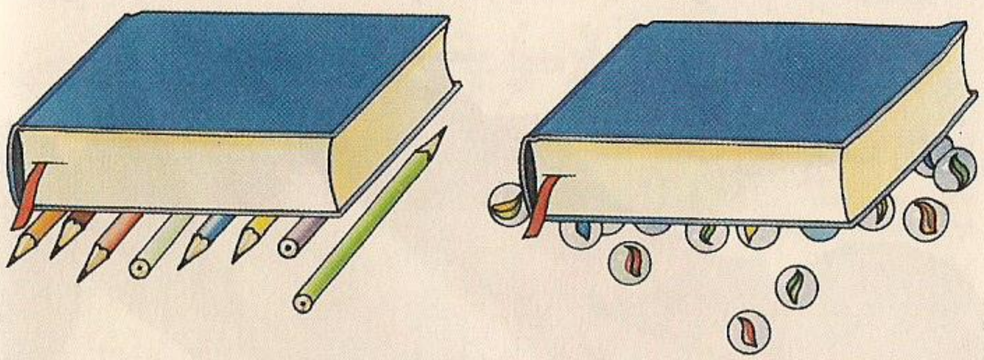
وَلِمُقاوَمةِ الاِحْتِكاكِ وَالتَّلَفِ النّاتِجِ عَنْهُ تُنعَّمُ الأَجْزاءُ المُتَحرِّكَةُ في المَكَناتِ وَتُزَلَّقُ أَوْ يُصارُ إلى اسْتِخْدامِ

مَحامِلِ الكُرَيّاتِ وَمَدارِجِها بالإضافةِ إلى مَشْقِ شَكْلِ الجِسْمِ المُتَحَرِّكِ وَجَعْلِهِ انْسِيابِيًّا .

لٰكِنَّ الاِحْتِكاكَ لَيْسَ شَرًّا كُلَّهُ . فَبِدونِهِ ما كُنّا نَسْتَطيعُ السَّيْرَ مَشْيًا أَوْ رَكْضًا بَلْ كُنّا نَزْلَقُ دونَ أَنْ نَتَمكَّنَ مِنَ التَّوَقُّفِ ، وَيَصِحُّ هٰذا أَيْضًا عَلى القُطُرِ وَالسَّيّاراتِ وَالطّائراتِ. وَلَوْلا الاِحْتِكاكُ ما كانَتِ المَسامِيرُ تَشُدُّ أَلْواحَ الخَشَبِ وَلا كانَتْ عيدانُ الثِّقابِ تَشْتَعِلُ بالحَكِّ !



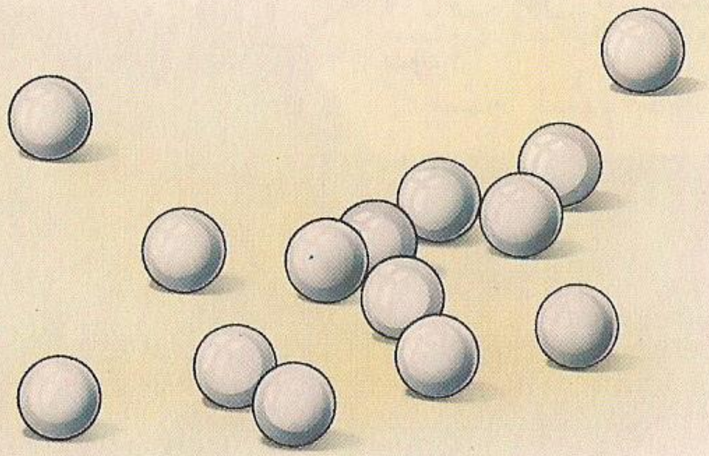
الاحْتِكاكُ يُمَكِّنُ الأَحْذِيَةَ مِنَ التَّشَبُّثِ بالأَرْضِ. فَهَلْ كانَ يُمْكِنُنا التَّوَقُّفُ بِدونِهِ ؟

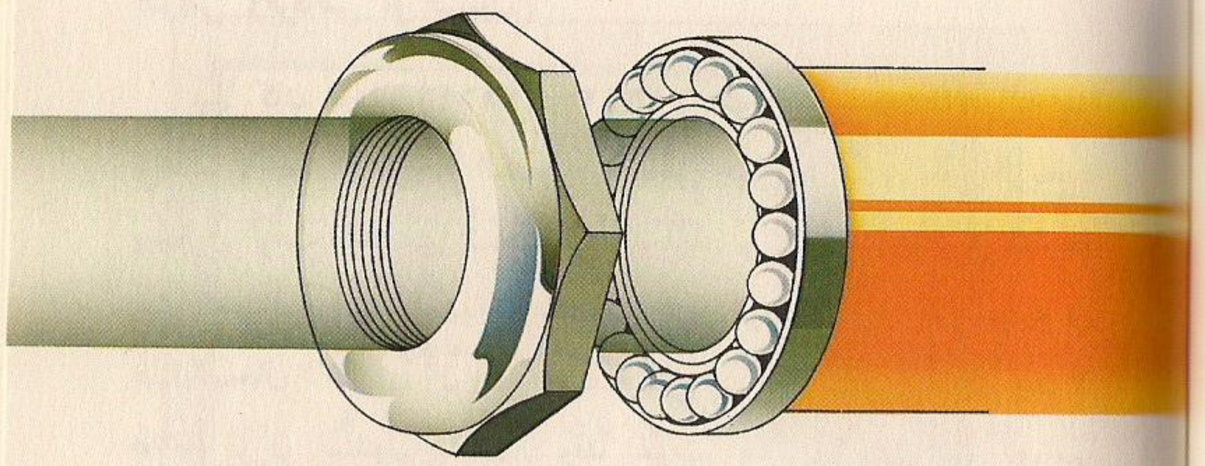


محامِلُ الكُرَيّاتِ

حينَ اسْتَخْدَمَ الإنْسانُ البَدائِيُّ جُذوعَ الشَّجَرِ لِيُدَحْرِجَ فَوْقَها الحِجارَةَ الضَّخْمَةَ كانَ يَحُلُّ بِذٰلِكَ بَعْضَ مَشاكِلِ الاحْتِكاكِ ؛ فجِذْعُ الشَّجَرَةِ شَبيهٌ مِنْ هٰذِهِ النّاحِيَةِ بِالدِّحْراجِ الأُسْطُوانِيِّ الَّذي يَسْتَخْدِمُهُ المُهندِسونَ المُعاصِرونَ .

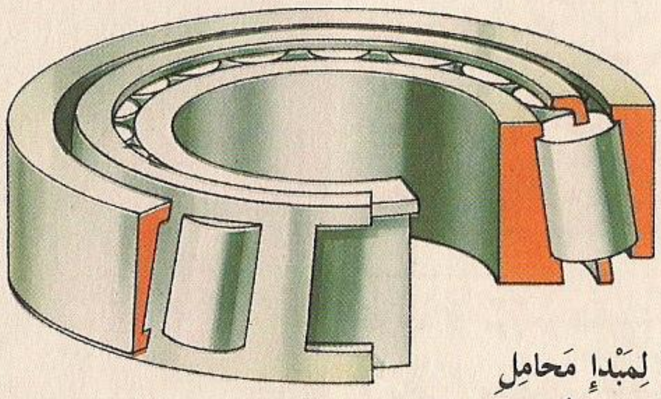
وَالدِّحْراجُ الأُسْطُوانِيُّ هُوَ أَيْضًا آلَةٌ . وَقَدْ تَطَوَّرَ حَديثًا إلى شَكْلِهِ الأَفْضَلِ في مَحْمِلِ الكُرَيّاتِ الَّذي هُوَ عِبارَةٌ عَنْ كُراتٍ فولاذِيَّةٍ مَلْساءَ صُلْبَةٍ داخِلَ مَدْرَجَةٍ حَلْقِيَّةٍ تَدورُ فَوْقَها . وَقَدْ أَضْحى مَحْمِلُ الكُرَيّاتِ جُزْءًا أَساسِيًّا في





كُلِّ مَكَنَةٍ تَعْمَلُ كَدولابٍ وَجُزْعٍ كالدَّرّاجة مَثَلًا . تَفَحَّصْ دَرّاجَتَكَ لِاكْتِشافِ مَواقِعِ مَحامِلِ الكُرَيّاتِ فيها . تَفَحَّصْ مِحْوَرَيِ الدّولابَيْنِ وَذِراعَيْ تَدْويرِ الدّوّاسَتَيْنِ وَعَمودَ المِقْوَدِ ، وَهِيَ الأَجْزاءُ المُتَحرِّكَةُ في الدَّرّاجة . إنَّ كُرَيّاتِ المَحامِلِ في الدَّرّاجةِ تَحتويها مَدْرَجةٌ حَلْقِيَّةٌ هِيَ مَدْرَجَةُ الكُرَيّاتِ .

لِاخْتِبارِ فَعّالِيَّةِ المَحامِلِ الكُرَوِيَّةِ في تَقْليلِ الاحْتِكاكِ ، أَعِدْ تَجْرِبَةَ تَدْريج كومَةِ الكُتُبِ عَلى الأَقْلامِ (صفحة ٢١) مُسْتَبْدِلًا بالأَقْلامِ كُراتٍ زُجاجِيَّة (كُلَلًا) . إنَّ دَفْعَةً بَسيطةً كافِيةٌ لِتَحْريكِ كومَةِ الكُتُبِ في هٰذِهِ الحالِ .



تَطْوير حَديثٌ لِمَبْدإِ مَحامِلِ الكُرَيّاتِ

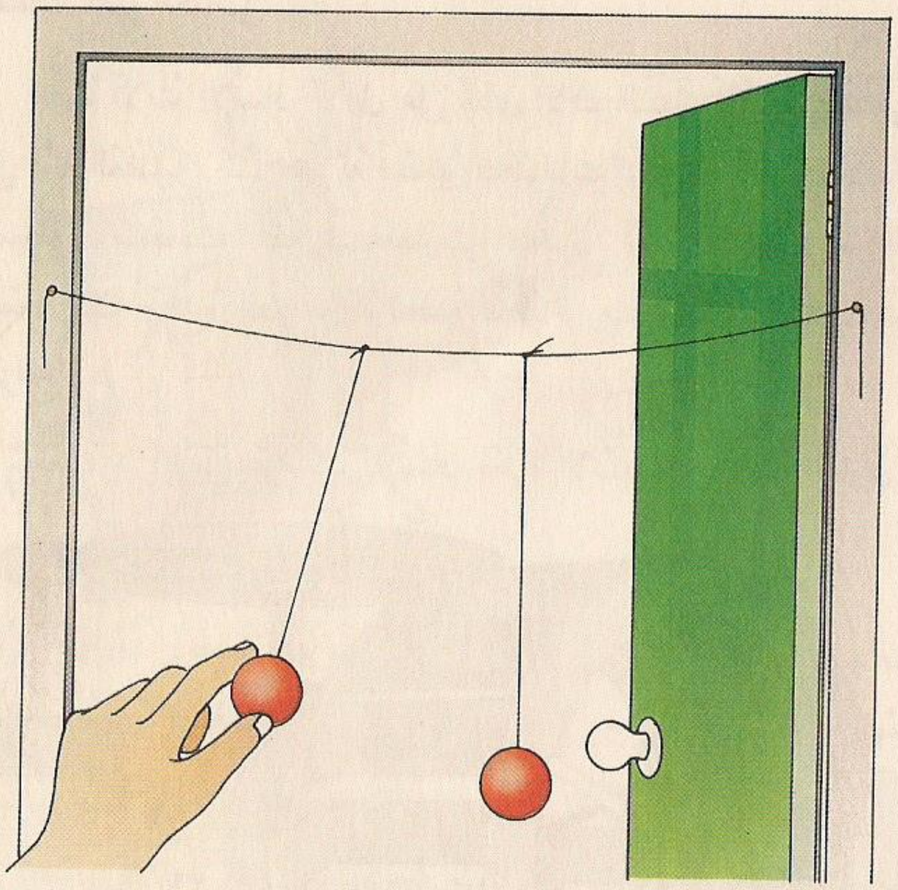
النَّوّاسُ (الرَّقّاصُ أَوِ البَنْدولُ)

بَيْنَما كانَ غالِيليو (١٥٦٤ – ١٦٤٢) يَشْهَدُ قُدّاسًا في كاتِدْرائيَّةِ پيزا بإيطالْيا لاحَظَ أَنَّ تَرَجُّحَ المِصْباحِ المُعَلَّقِ جيئة وَذَهابًا ، بِفِعْلِ الرِّيح ، يَسْتَغْرِقُ الوَقْتَ نَفْسَه مَهْما اتَّسعَ قَوْسُ الذَّبْذَبَةِ . وَكانَ غالِيليو وَهُوَ في التّاسِعَةَ عَشْرَةَ حينئذٍ يُوَقِّتُ الذَّبْذَباتِ بِنَبَضاتِ عِرْقِ الرُّسُغِ . وَبِمُتابعةِ تجاربِهِ في هٰذا المَجالِ اكْتَشَفَ أَنَّ زَمنَ الذَّبْذَبة يَقِلُّ إذا قَصُرَ حَبْلُ البَنْدولِ وَأَنْ لا عَلاقَةَ لِوَزْنِ البَنْدولِ بِذٰلِكَ . وَقَدْ غَيَّرتْ هٰذِهِ الاِكْتِشافاتُ تَصاميمَ السّاعاتِ البَنْدوليَّةِ حَتّى عَصْرِنا الحاضِرِ .*

إذا كانَ لَدَيْكُمْ ساعَةُ حائطٍ بَنْدولِيّةٌ فَتَفَحَّصْ تَرْكيبَ البَنْدولِ وَطَريقَةَ تَعْليقِهِ بِداخِلِها . ستُلاحِظُ أَنَّ القَضيبَ الَّذي يَحْمِلُ ثِقْلَ البَنْدولِ مُعَلَّقٌ مِنْ صَفيحةٍ فولاذِيَّةٍ نابِضِيَّةٍ تَسْمَحُ لَهُ بِحُرِّيَّةِ الذَّبْذَبَةِ . وَتَسْتَمِرُّ ذَبْذَبَةُ الرَّقّاصِ بِفِعْلِ الجاذِبِيَّةِ ، وَلَوْلا الاِحْتِكاكُ لاسْتَمَرَّتْ بَعْدَ بَدْئِها إلى ما لا نِهايَة . وَتَقومُ آلِيَّةُ السّاعَةِ بِدَفْعِ الرَّقّاصِ دَوْرِيًّا لِلتَّعْويضِ عَنِ الطّاقَةِ المَفْقودةِ بالاِحْتِكاكِ . بِماذا يَحْتَكُّ الرَّقّاصُ في أَثْناءِ نَوَسانِهِ ؟

---

* يَذْكُرُ مُؤَرِّخو العُلومِ أَنَّ العَرَبَ عَرَفوا الرَّقّاصَ واسْتَخْدموهُ في السّاعاتِ قَبْلَ غالِيليو بِسِتَّةِ قُرونٍ .



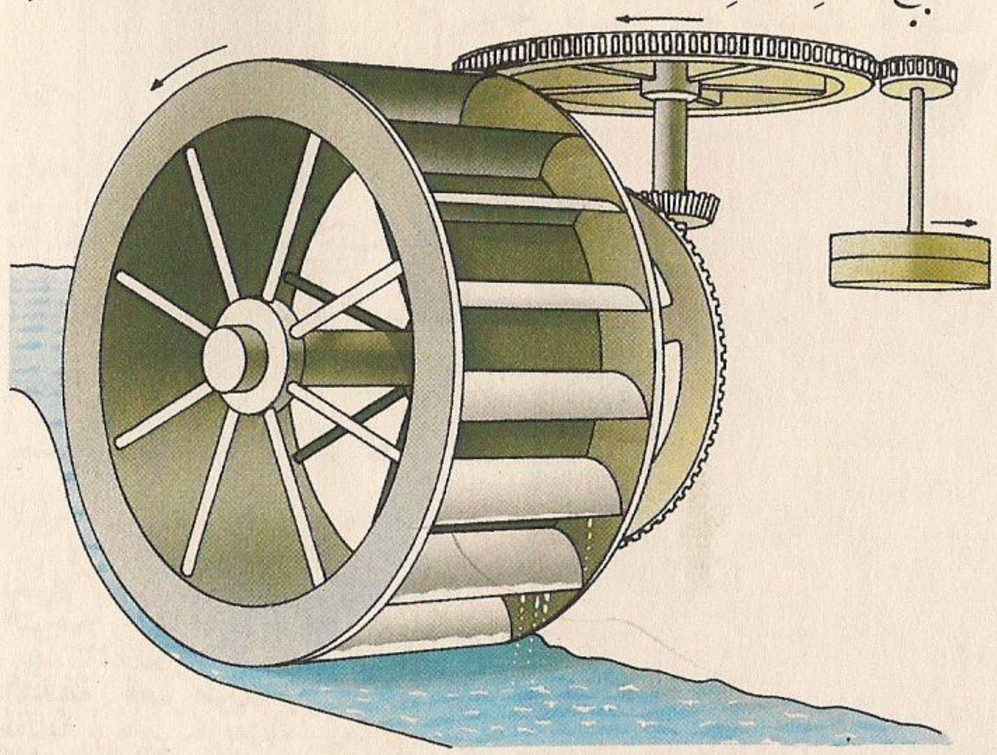
لاِخْتِبار قَوانينِ الرَّقّاصِ عَلِّقْ ثِقْلًا بِخَيْطٍ مِنْ مَوْقِعٍ يَسْمَحُ لَهُ بِحُرِّيَّةِ التَّرَجُّحِ . اِبْدإِ الذَّبْذَبَةَ وَعُدَّ الذَّبْذَباتِ (جيئةً وَذَهابًا) الَّتي يُتِمُّها الرَّقّاصُ في الدَّقيقَةِ . قَصِّرْ طولَ خَيْطِ البَنْدول إلى النِّصْفِ ، وَكَرِّرْ عَدَّ الذَّبْذَباتِ . ماذا تُلاحِظُ ؟ الآنَ عَلِّقْ بَنْدولَيْن مُتَساوِيَي الطّولِ وَالثِّقْلِ مِنْ خَيْطٍ راخٍ مُعَلَّقٍ بَيْنَ قائمَتَيْ بابٍ مَفْتوحٍ . أَرْجِحْ أَحَدَ الثِّقْلَيْن وَراقِبْ ما يَحْدُثُ . إنَّها ظاهِرةُ الذَّبْذَبةِ بالتَّأْثيرِ . ماذا لَوْ عَلَّقْتَ ثَلاثَةَ بَنْدولاتٍ مِنَ الخَيْطِ ؟

يُمْكِنُكَ مُتابَعَةُ ذَبْذَبةِ البَنْدولِ عَلى سَطْحٍ رَمْلِيٍّ بِتَعْليقِ قِنِّينَةٍ مَقْلوبَةٍ أَوْ ثِقْلٍ مُدَبَّبٍ يَتْرُكُ أَثَرَهُ عَلى الرَّمْلِ .

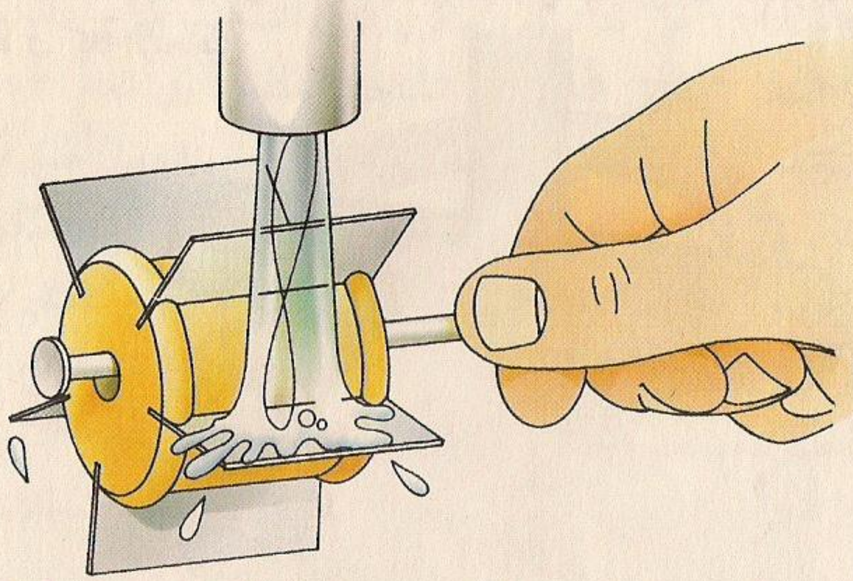
مَكَناتٌ تُديرُ مَكَناتٍ

ظَلَّتْ آلاتُ الإنْسانِ الأُولى عَلى مَدى آلافِ السِّنين تَعْتَمِدُ في تَشْغيلِها عَلى قُوَّتِهِ العَضَلِيَّةِ. ثُمَّ خَطَرَ لَهُ تَسْخيرُ الحَيَواناتِ لِتَشْغيلِ آلاتِهِ الميكانيكِيَّةِ البَسيطَةِ. وَنَجَحَتِ الفِكْرَةُ فَصارَتِ الخُيولُ وَالثِّيرانُ تَجُرُّ العَرَباتِ والمَحاريثَ أَوْ تُديرُ الطَّواحينَ وَالحَميرُ تَقْطُرُ قَوارِبَ الصَّيْدِ وَالكِلابُ تَجُرُّ المَزالِجَ.

وَمَعَ مُرورِ الزَّمَنِ عَرَضَتْ للإنْسانِ فِكْرَةُ الاِسْتِفادَةِ مِنَ الماءِ الجاري أَوِ

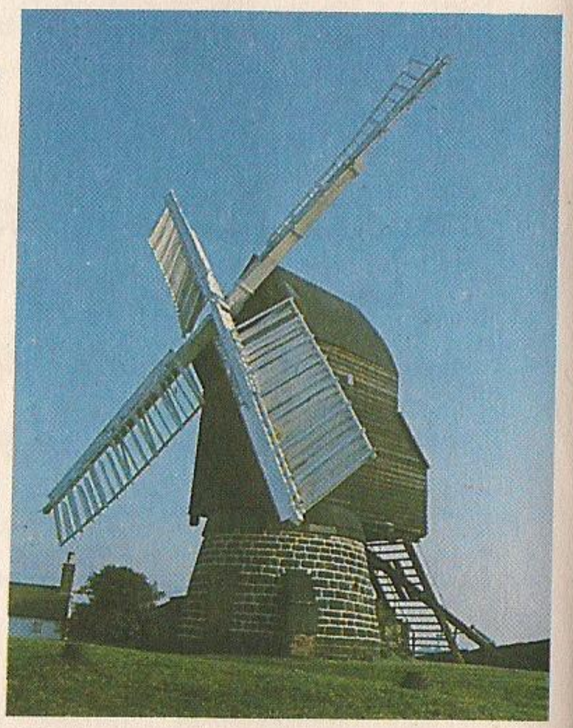


السّاقِطِ. فَصَمَّمَ النّاعورَةَ ثُمَّ الدّولابَ ذا الأَرْياشِ لِيُديرَها الماءُ الجاري. وبمَجْموعةٍ مِنَ التُّروسِ البَسيطَةِ تَمَكَّنَ مِنْ نَقْلِ حَرَكَةِ الدّولابِ لإدارةِ حَجَرِ الطّاحونِ. وَبإمكانِكَ صُنْعُ نَموذَجٍ لِدولابٍ ناعوريٍّ مِنْ مِكَبٍّ خُيوطٍ وَخَمْسِ صَفائحَ مُسْتَطيلةٍ مِنَ التَّنَكِ (القَصْدير). اِقْطَعْ خَمْسَةَ حُزوزٍ عَميقةٍ عَلى أَبْعادٍ مُتَساوِيَةٍ مِنْ مُحيطِ المِكَبِّ وَثَبِّتْ فيها الصَّفائِحَ



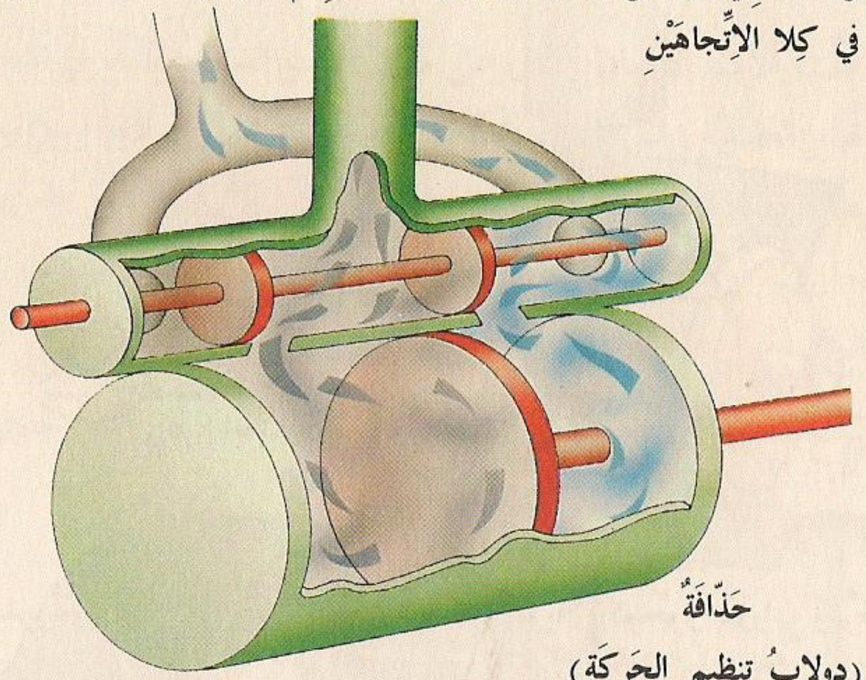
القَصْديريَّةَ. أَمْرِرْ عَبْرَ ثَقْبِ المِكَبِّ مِسْمارًا طَويلًا كَمِحْورِ دَوَرانٍ وَعَرِّضِ الدّولابَ لِلماءِ السّاقِطِ مِنَ الصُّنْبورِ فَوْقَ حَوْضِ المَغْسَلَةِ وَراقِبْهُ يَدورُ.

ثُمَّ تَوَصَّلَ الإنْسانُ إلى تَسْخيرِ قُدْرَةِ الرِّياحِ لإدارةِ آلاتِهِ بِواسِطَةِ طاحونَةِ الهَواءِ. هَلْ تَعْرِفُ آلاتٍ أُخْرى تُدارُ بالرِّيحِ أَوْ بالماءِ؟ هَلْ بإمْكانِكَ صُنْعُ نَموذَجٍ لِطاحونَةِ الهَواءِ؟



لَقَدْ ظَلَّتْ قُدْرَةُ الرِّيحِ وَالماءِ تُديرُ أَشْرِعَةَ الطَّواحينِ وأَرْياشَ النَّواعيرِ مِئاتِ السِّنينَ. لٰكِنَّ الحاجَةَ إلى مَصْادِرَ جَديدةٍ لِلقُدْرَةِ مُنْذُ القَرْنِ السّابِعَ عَشَرَ حَفَزَتِ الإنْسانَ إلى اخْتِراعِ مَكَناتٍ مُدْهِشَةٍ فَتَحَتْ لَهُ آفاقًا جَديدةً وإمكاناتٍ واسِعَةً نَحْوَ تَخْفيفِ أَعْباءِ العَيْشِ اليَوْمِيَّةِ.

المُحرِّكُ البُخارِيُّ : يَدْخُلُ البُخارُ جانِبًا مِنَ المِكْبَسِ ثُمَّ يَنْتَقِلُ إلى الجانِبِ الآخَرِ دافِعًا إيّاهُ في كِلا الإتِّجاهَيْنِ



يَضْغَطُ البُخارُ المِكْبَسَ جيئةً وَذَهابًا مُحَرِّكًا ذِراعَ التَّدْويرِ المُتَّصِلَ بالحَذّافةِ

المُحَرِّكُ البُخارِيُّ

كانَ اسْتِخْدامُ البُخارِ لإدارة المكَناتِ فاتِحَةَ عَهْدِ ازْدِهارِ الصِّناعَةِ ، فَلا غَرْوَ أَنِ اعْتُبِرَ اخْتِراعُ المُحَرِّكِ البُخارِيِّ مِنَ الأَحْداثِ العُظْمى في التّاريخ . وَلَعَلَّ المُحَرِّكَ البُخارِيَّ الأَشْهَرَ هُوَ الَّذي سَجَّلَ اخْتِراعَهُ جيمْس واط عام ١٧٦٩ (مُعْتَمِدًا عَلى أَعْمالِ مُهَنْدِسينَ آخَرينَ) فاكْتَسَبَ بِذٰلِكَ لَقَبَ «أَبو البُخار» . لكِنْ يُعْتَقَدُ أَنَّ هيرو الإسْكَنْدريَّ هُوَ أَوَّلُ مَنْ طَوَّعَ البُخارَ عامَ ١٣٠ ق . م . ! . كَما إنَّ نَجاحَ المُحَرِّكِ البُخارِيِّ تِجارِيًّا قَدْ بَدأَ

فِعلًا عامَ ١٦٩٨ عَلى يَد توماس ساڤْري الَّذي اسْتَخْدَمَهُ لِنَزْحِ الماءِ مِنْ مَناجِمِ الفَحْمِ لِتَسْهيلِ التَّعْدين في المَناجِمِ العَميقةِ . وَفي العامِ ١٧٠٣ صَمَّمَ توماس نيوكومِن مُحَرِّكًا بُخارِيًّا قادِرًا عَلى نَزْحِ الماءِ مِنْ أَعْمَق آبارِ المَناجِم . وَبَيْنَما كانَ جيمس واط ، وَكانَ صانِعَ أَدَواتٍ في غلاسْكو ، يُصَلِّحُ أَحَدَ مُحَرِّكاتِ نيوكومِن لاحَظَ أَنَّ المُحَرِّكَ يُضَيِّعُ الكَثيرَ مِنَ القُدْرَةِ ، فَأَضافَ إلَيْهِ مُكَثِّفًا مُسْتَقِلًّا أَدّى إلى تَوْفير ٧٥٪ مِنَ الوَقود كَما أَجْرى عَلَيْهِ تَحْسيناتٍ جَعَلَتْهُ يَتَفَوقُ عَمَليًّا عَلى تَصْميمِ نيوكومِن الأَصْلِيِّ . كَذٰلِكَ اخْتَرَعَ واط وَسيلَةً تُمَكِّنُ المُحَرِّكَ البُخارِيَّ مِنْ تَدْويرِ العَجَلاتِ .

وَالمُحَرِّكُ البُخارِيُّ هُوَ آلَةٌ ميكانيكيَّةٌ تُحَوِّلُ الطّاقَةَ الحَراريَّةَ إلى طاقةٍ ميكانيكيَّةٍ . فالبُخارُ المُنْدَفِعُ مِنَ المِرْجَلِ يَدْفَعُ المِكْبَسَ (أَوِ المَكابِسَ) جيئةً وَذَهابًا مُحَرِّكًا ذِراعَ التَّدْويرِ المُتَّصِلَ بالحَذّافةِ . وَهٰذِهِ تحَرِّكُ أَجْزاءَ الآلاتِ المُرادِ تَشْغيلُها .

لَقَدْ غَيَّرَ المُحَرِّكُ البُخارِيُّ العالَمَ كما غَيَّرَ نَمَطَ الحَياةِ وأَساليبَها ، فازْدَهَرَتْ مَراكِزُ الصِّناعةِ وَكَثُرَ الإنْتاجُ وَرَخُصَ . وَاسْتُخْدِمَتِ المُحَرِّكاتُ البُخارِيَّةُ في جَرِّ القِطاراتِ وَتَسْيير السُّفُن ناقِلَةً الرُّكّابَ والبَضائعَ بِسُرْعَةٍ إلى شَتّى أَرْجاءِ المَعمورِ . وَهٰذا التَّغَيُّرُ الحَياتِيُّ وَالحَضاريُّ الجارِفُ هُوَ ما يُسَمّى في كُتُبِ التّاريخِ بالثَّوْرَةِ الصِّناعِيَّةِ .

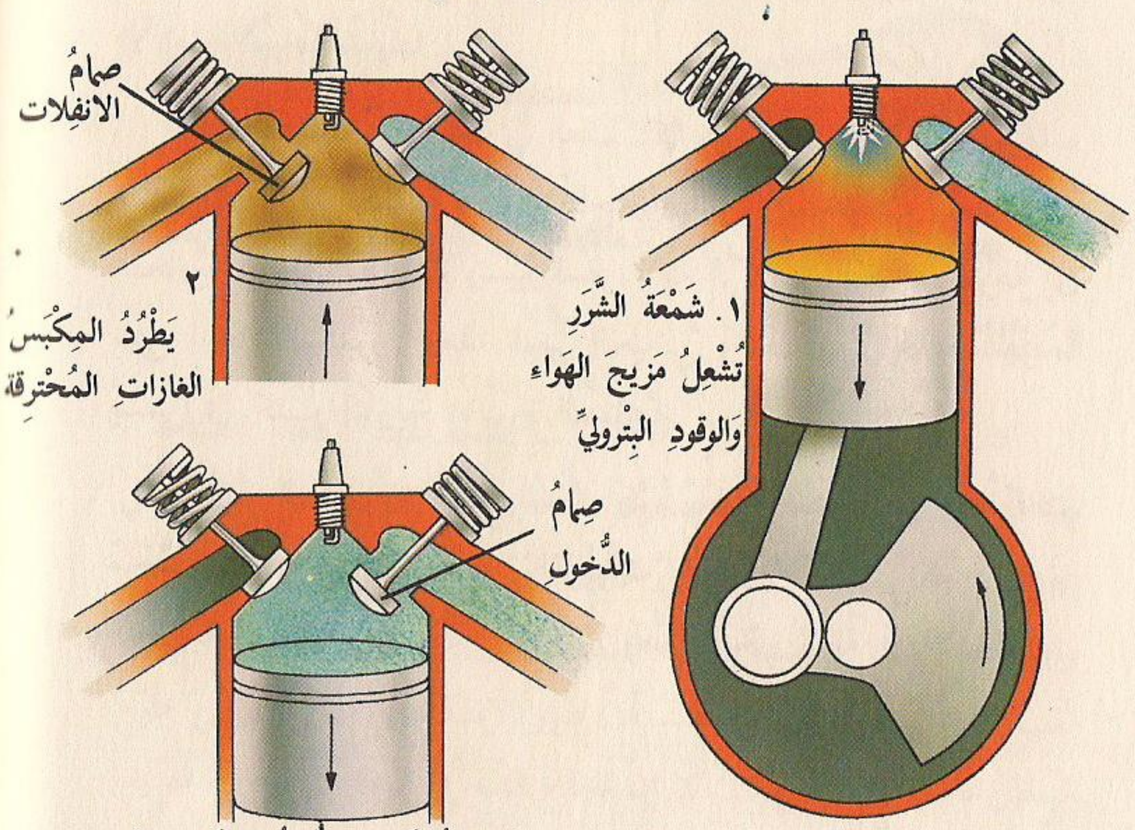
وَبِدافِعِ الحَنينِ إلى عَصْرِ البُخارِ يَقومُ بَعْضُ المُتَحَمِّسينَ في أَوْقاتٍ مُحَدَّدَةٍ بإعادةِ تَشْغيلِ بَعْضِ القاطِراتِ البُخارِيَّةِ وَبَعْضِ المُحَرِّكاتِ البُخارِيَّةِ المُجَدَّدَةِ حَتّى تَبْقى ذِكْرَى عَصْرِ البُخارِ ماثِلَةً في الأَذْهانِ .

مُحَرِّكُ الاِحْتِراقِ الدّاخِلِيِّ

لَقَدْ أَحْدَثَ المُحَرِّكُ البُخارِيُّ انْقِلابًا في نَمَطِ العَيْشِ وَنَقَلَ العالَمَ إلى عَصْرِ الثَّوْرةِ الصِّناعِيَّةِ. لٰكِنَّ سَعْيَ الإنْسانِ الدَّؤوبَ يَظَلُّ يَحْفِزُهُ نَحْوَ الأَفْضَلِ لإنْتاجِ الأَفْعلِ مِنَ المُحَرِّكاتِ وَتَشْغيلِ المَزيدِ مِنَ المَكَناتِ.

في المُحَرِّكِ البُخارِيِّ يُحْرَقُ الفَحْمُ أَوِ النِّفْطُ لِتَسْخينِ الماءِ وَتَوْليدِ البُخارِ الَّذي يَنْدَفِعُ إلى الأُسْطُوانةِ لِتَحْريكِ المِكْبَسِ. وَالاِحْتِراقُ يَجْري هُنا خارِجَ الأُسْطُوانةِ بِخِلافِ الحالِ في مُحَرِّكِ الاِحْتِراقِ الدّاخِلِيِّ. فَفي هٰذا المُحَرِّكِ يُمْزَجُ الوَقودُ البِتْرولِيُّ بالهَواءِ ثُمَّ يُحْقَنُ المَزيجُ إلى داخِلِ الأُسْطُوانةِ حَيْثُ يُفَجَّرُ بِشَرارةٍ وَيَدْفَعُ المِكْبَسَ. وَيَمْتازُ هٰذا المُحَرِّكُ عَنِ المُحَرِّكِ البُخارِيِّ بِحَجْمِهِ الأَصْغَرِ وَخِفَّتِهِ إلى جانِبِ فَعّالِيَّتِهِ – مِمّا

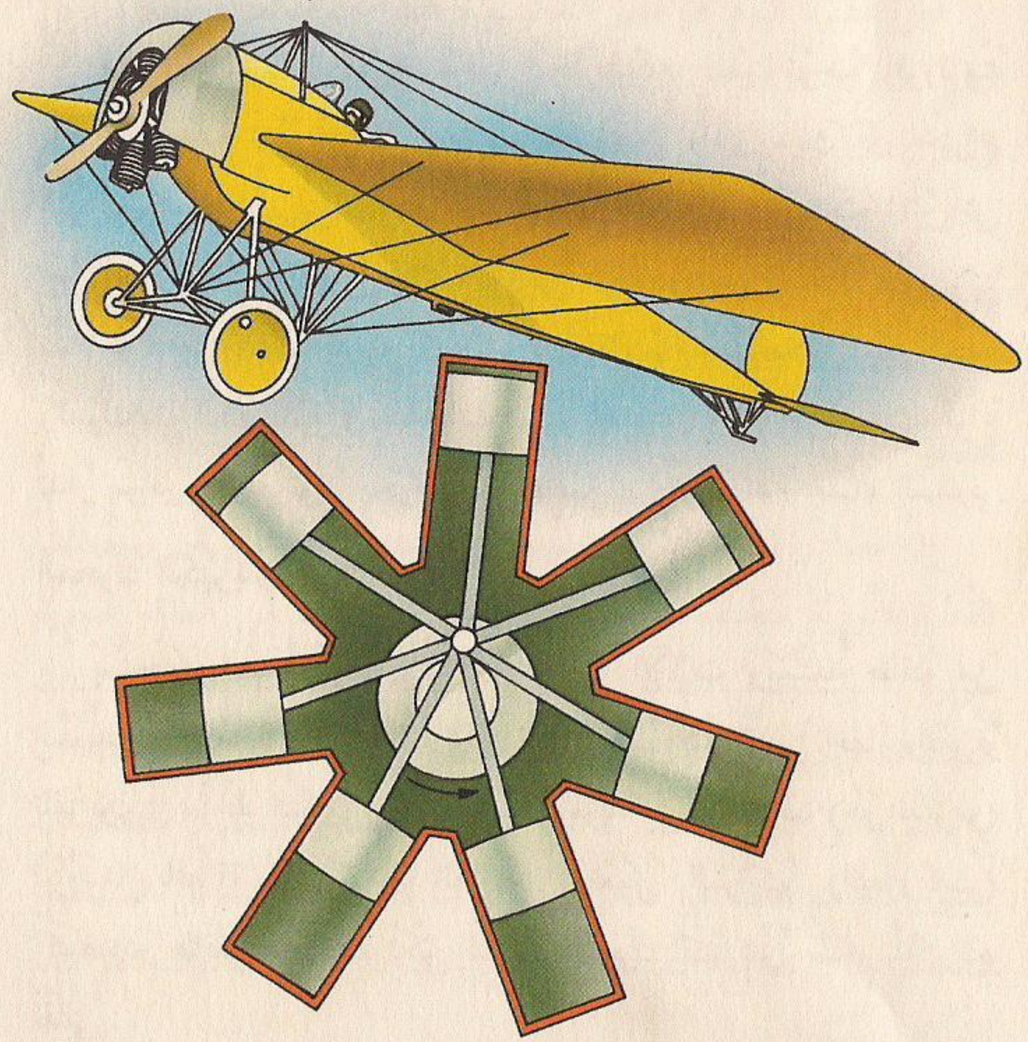
مُحَرِّكُ الاِحْتِراقِ الدّاخِلِيِّ



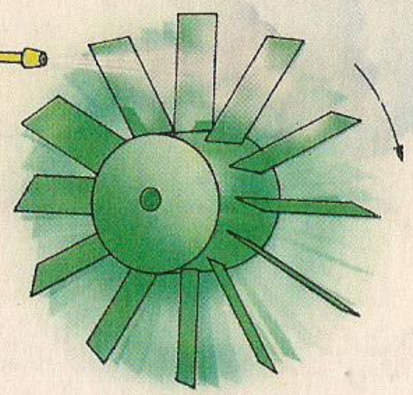
٣. يَتَحَرَّكُ المِكْبَسُ نُزولًا في الأُسْطُوانةِ فَيَسْحَبُ المَزيجَ في الوَقْتِ الَّذي يَنْفَتِحُ فيهِ صِمامُ الإدْخالِ

جَعَلَهُ مُناسِبًا لِتَسْييرِ السَّيّاراتِ وَالحافِلاتِ والشّاحِناتِ وَالدَّرّاجاتِ النّارِيَّةِ. وَبالرَّغْمِ مِنْ أَنَّ السَّيّاراتِ الخاصَّةَ ظَلَّتْ لِفترةٍ دونَ مُتَناوَلِ الرَّجُلِ العادِيِّ فإنَّ رُخْصَ أُجورِ السَّفَرِ بالحافِلاتِ العامَّةِ فَتَحَ آفاقَ التَّنَقُّلِ وَالسَّفَرِ أَمامَ العائلاتِ. وَلَمْ يَطُلِ الوَقْتُ حَتّى تَزايدَ إنْتاجُ السَّيّاراتِ فانْخَفَضَ سِعْرُها وَعَمَّ اسْتِخْدامُها.

وَلَمْ يَقْتَصِرِ اسْتِخْدامُ مُحَرِّكِ الاِحْتِراقِ الدّاخِلِيِّ عَلى المَرْكَباتِ البَرِّيَّةِ بَلْ يَسَّرَتْ خِفَّةُ وَزْنِهِ وَكفاءَتُه العالِيَةُ اسْتِخْدامَهُ في الطّائراتِ – فَصارَ بِوُسْعِ المَرْءِ السَّفَرُ إلى بِلادٍ جَديدةٍ بَعيدةٍ في وَقْتٍ قَصيرٍ.



زُوِّدتِ الطّائِراتُ بِمُحَرِّكاتٍ بِنْزينِيَّةٍ دائِرِيَّةِ الأُسْطُوانات



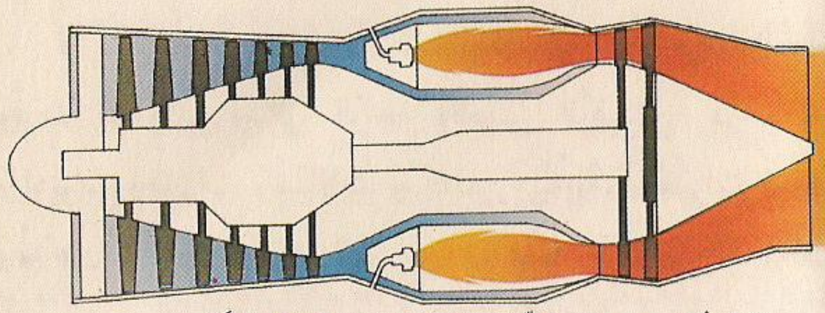
نافورةٌ مِنَ الغازِ تُديرُ
دولابًا ناعورِيًّا
مَعْدِنِيًّا في نَموذج
مُحَرِّكٍ توربينيٍّ

المُحَرِّكُ التّورْبينيُّ (العَنَفَةُ)

مِنَ الأَساليبِ الَّتي اسْتُخْدِمَ فيها البُخارُ لَتوْليدِ القُدْرةِ تَوْجيهُ نافورةٍ مِنْهُ بِزاوِيَةٍ مُحَدَّدةٍ نَحْوَ أَرْياشِ دولاب ناعورِيٍّ ، وَأَدّى ذٰلِكَ إلى اخْتِراعِ التّورْبينِ البُخارِيِّ . يَتَأَلَّفُ دولابُ التّورْبينِ البُخارِيِّ مِنْ مئاتِ الأَرْياشِ حَوْلَ مِحْوَرٍ طَويلٍ داخِلَ غِلافٍ مَعْدِنِيٍّ مَتينٍ . وَيَتَمَيَّزُ المُحَرِّكُ التّوربينِيُّ بِسَلاسةِ دَفْعِهِ وَعِظَمِ قُدْرَتِهِ كَمَصْدر للطّاقةِ مِمّا يَجْعَلُهُ مِثاليًّا لِتَسْيير السُّفُنِ وَالمُوَلِّداتِ الكَهْربائيَّةِ في مَحطّاتِ تَوْليدِ القُدْرةِ . وَمِنَ التّورْبيناتِ أَنْواعٌ تُدارُ بِنَوافيرَ غازِيَّةٍ تُوَلَّدُ بِحَرْقِ وُقُودٍ خاصَّةٍ ، وَأَنْواعٌ تُدارُ بِماءِ السُّدودِ .

المُحَرِّكُ الكَهْربائيُّ

يُسْتَخْدَمُ المُحَرِّكُ الكَهْربائيُّ في إدارةِ الآلاتِ وَيَسْتَمِدُّ طاقَتَهُ مِنَ المُوَلِّداتِ في مَحَطَّةِ تَوْليدِ القُدْرةِ كَما هِيَ الحالُ حينَما نَقْبِسُ جِهازَ راديو أَوْ تِلفِزْيونٍ في مأْخَذِ التَّيّارِ . وَتَحمِلُ السَّيّارة مُوَلِّدًا صَغيرًا خاصًّا (هُوَ الدّينامو) لِيُزَوِّدَها بالطّاقةِ الكَهْربائيَّةِ اللّازمةِ . وَتَعْمَلُ المَراكِمُ (البَطّارِيّاتُ) كَمَصادِرَ طاقِيَّةٍ مَحْدودةٍ تَكْفي لِتَشْغيلِ مُحَرِّكٍ كَهْربائيٍّ صَغيرٍ أَوْ راديو نَقّالِيٍّ .



ضَغْطُ الغازِ العالي يُوَلِّدُ «الدَّفْعَ» في المُحَرِّكِ النَّفّاثِ

المُحَرِّكُ النَّفّاثُ

لَعَلَّ عَصْرَنا اليَوْمَ هُوَ عَصْرُ النَّفّاثاتِ ، فَقَدْ أَخَذَ المُحَرِّكُ النَّفّاثُ يَحُلُّ مَحَلَّ مُحَرِّكِ الاِحْتِراقِ الدّاخِلِيِّ في أَكْثَرِ الطّائراتِ . وَيَتَلَخَّصُ عَمَلُ المُحَرِّكِ النَّفّاثِ بِإحْراقِ مَزيجٍ مِنَ البارافين (الكيروسينِ) وَالهواءِ لِتَوْليدِ غازاتٍ حامِيَةٍ عالِيَةِ الضَّغْطِ . وَبانْدِفاعِ هٰذِهِ الغازاتِ مِنْ مِنْفَثٍ في مُؤَخَّرةِ المُحَرِّكِ يَعْمَلُ رَدُّ الفِعْلِ النّاتِجُ عَلى دَفْعِ المُحَرِّكِ قُدُمًا – تَمامًا كَما يَنْدَفِعُ البالونُ المَنْفُوخُ باتِّجاهٍ مُضادٍّ لِاتِّجاهِ انْطِلاقِ الغازِ مِنْ فُوْهَتِهِ .

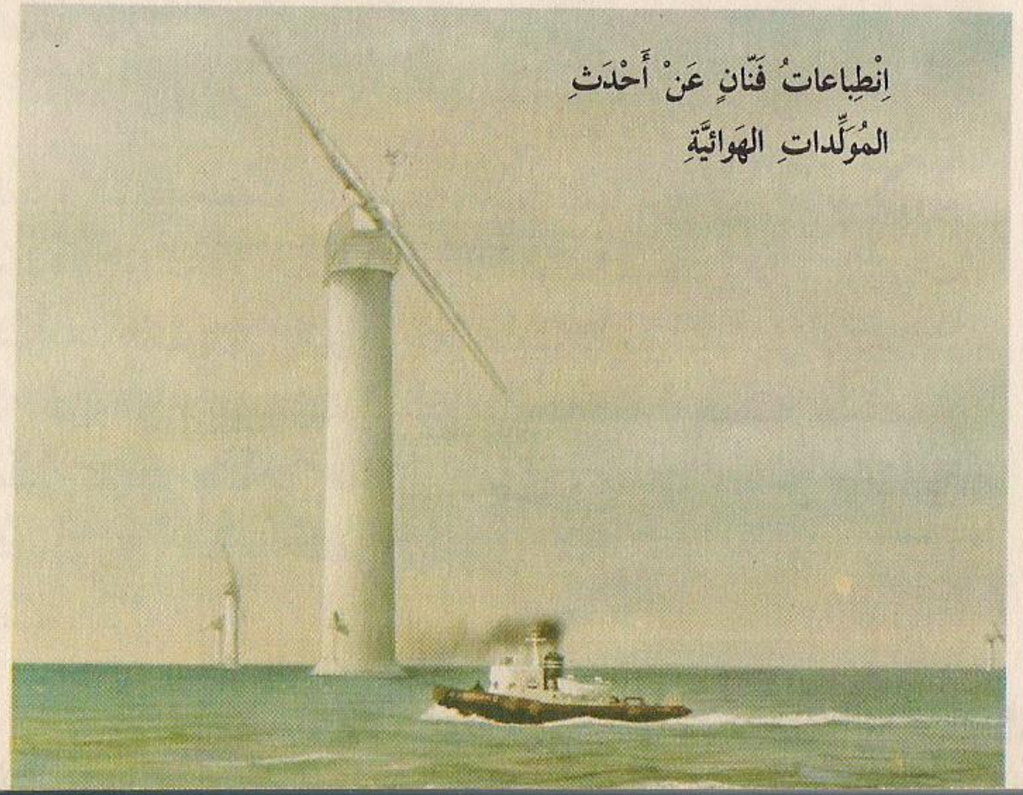
الطّاقَةُ النَّوَوِيَّةُ

إنَّ مَصادِرَ الطّاقةِ الأَكْثَرَ تَطَوُّرًا هِيَ المُفاعِلاتُ النَّوَوِيَّةُ . وَمَحَطّاتُ القُدْرةِ النَّوَوِيَّةِ مُتَعَدِّدَةُ التَّصاميمِ وَلٰكِنَّها كُلَّها تُوَلِّدُ مِنَ الطّاقةِ النَّوَوِيَّةِ حَرارةً ، وَتَسْتَخْدِمُ الطّاقَةَ الحَرارِيَّةَ لِتَوْليد البُخارِ وإدارةِ تورْبيناتِ المُوَلِّداتِ الكَهْربائيَّةِ . وَاليورانْيومُ هُوَ العُنْصُرُ الأَكْثَرُ اسْتِعْمالًا في المُفاعِلاتِ بِما يَحْتَويهِ مِنْ ذَرّاتٍ انْشِطارِيَّةٍ تُنْتِجُ تفاعُلًا انْشِطارِيًّا مُتَسَلْسِلًا مُتَحَكَّمًا بِهِ يُطْلِقُ كَمِيّاتٍ هائلةً مِنَ الحَرارةِ . وَعِنْدَما لا يَخْضَعُ التَّفاعُلُ المُتَسَلْسِلُ لِلتَّحكُّمِ فإنَّ تَسارُعَ التَّفاعُلِ يُؤَدّي إلى انْفِجارٍ هائلٍ – وَهٰذا هُوَ مَبْدأُ القُنْبُلةِ الذَّرِّيَّةِ !

المَكَناتُ – لَيْسَتْ خَيْرًا بِلا شَرٍّ

لا يُنْكِرُ أَحَدٌ فَضْلَ الآلاتِ الميكانيكيَّةِ عَلى حَياتِنا المُعاصِرةِ. فَقَدْ وَفَّرَتْ لَنا الآلَةُ وَسائلَ الرّاحةِ وَالعَيْشِ الرَّغيدِ – دَرّاجاتٍ وَسَيّاراتٍ وَراديواتٍ وطائِراتٍ وَغَسّالاتٍ وَمَكانِسَ آلِيَّةً وَمُسْتَحْضَراتٍ لَدائنيَّةً وَتَنْظيفِيَّةً وَغَيْرَها. وَالمَكَناتُ في المَزارِعِ تُساعِدُنا حَرْثًا وَزَرْعًا وَحَصْدًا وَدَرْسًا وَتَخْزينًا، وَالمَكَناتُ حَوْلَنا في كُلِّ مَكانٍ وَتَحْمِلُنا إلى كُلِّ مَكانٍ أَوْ تَحْمِلُ إلَيْنا البَضائعَ مِنْ كُلِّ مَكانٍ. لَقَدْ أَصْبَحَتْ حَياتُنا وَثيقةَ الارْتِباطِ بَلِ الاعْتِمادِ عَلى الآلَةِ، وَبِدونِها كانَتْ حياتُنا تَتَغَيَّرُ جَذْرِيًّا نَمَطًا وَحَضارةً وَأَساليبَ عَيْشٍ.

لٰكِنَّ المَكَناتِ وَما تُخَلِّفُهُ لَنا مِنْ تَلَوُّثٍ خَلَقَتْ لَنا مَشاكِلَ أَصْبَحَتْ تُهَدِّدُ وُجودَنا نَفْسَهُ! فالأَجْواءُ عابِقَةٌ بالأَدْخِنةِ، والنُّفاياتُ الصِّناعِيَّةُ والكيماوِيَّةُ تُلَوِّثُ الأَنْهارَ وَالبِحارَ وَتُهَدِّدُ تَوازُنَ البيئَةِ الأَحْيائيَّ، وَالضَّجيجُ يُعَكِّرُ صَفْوَ السُّكّانِ في المَناطِقِ الصِّناعِيَّةِ وَجِوارِ المَطاراتِ وَحَتّى نُفاياتُ



اِنْطِباعاتُ فَنّانٍ عَنْ أَحْدَثِ المُوَلِّداتِ الهَوائيَّةِ

الوَقودِ النَّوَوِيِّ صارَتْ خَطَرًا يَتَهَدَّدُ مُسْتَقْبَلَنا وَبَقاءَنا. وَهُنالِكَ حالِيًّا وَعْيٌ مُتَزايِدٌ حَوْلَ مَشاكِلِ التَّلَوُّثِ وَصِيانَةِ البيئةِ.

وَلَعَلَّهُ لا مَهْرَبَ لِلإِنْسانِ مِن الاِسْتِمْرارِ في تَطْوير الطّاقةِ النَّوَوِيَّةِ ما دامَتِ الوُقُدُ المَعْدِنِيَّةُ مِنْ نِفْطٍ وَفَحْمٍ وَغازٍ تُشارِفُ النُّضوبَ.

وَإِنّا لَنَتَساءَلُ عَمّا سَتَكونُ عَلَيْهِ الوُقُدُ في المُسْتَقْبَلِ، فَالعُلَماءُ يُنْذِرونَ أَنَّهُ حَتّى مَوارِدُ الطّاقةِ النَّوَوِيَّةِ لَيْسَتْ أَبَدِيَّةً!

ماذا بَعْدُ؟

مُنْذُ العَتَلَةِ الَّتي اكْتَشَفَها الإِنْسانُ البَدائيُّ صِدْفَةً خَطا الإِنْسانُ المُعاصِرُ بِمُخْتَرَعاتِهِ خُطُواتٍ هائلةً – لٰكِنْ حَتّى في أَكْثَرِ المَكَناتِ تَعْقيدًا نَجِدُ العَتَلَةَ وَالدّولابَ جُزْأَيْنِ أَساسِيَّيْنِ!

فَما هِيَ يا تُرى مَكَناتُ المُسْتَقْبَلِ؟ وَهَلْ نَرْغَبُ نَحْنُ حَقًّا في أَنْ نَرى الآلَةَ تَفْعَلُ لَنا كُلَّ شَيءٍ؟

طاحونَتا هَواءٍ قَيْدَ التَّشْغيلِ

الفِهْرِسُ

تاريخُ المَكَناتِ وَالآلاتِ الميكانيكِيَّةِ ٤
سُكّانُ العالَمِ سابِقًا وَلاحِقًا ٦
المَكَناتُ الأُولى ٨
الرَّافِعَةُ (العَتَلَةُ أَوِ المُخْلُ) ٩
الشّادوفُ ١٠
الميزانُ ١٠
كَيْفَ تَصْنَعُ نَموذَجَ أُرْجوحةٍ ١٢
كَيْفَ تَصْنَعُ مِيزانًا حَسّاسًا ١٣
مِيزانٌ فائِقُ الحَساسِيّةِ مِنْ قَشَّةِ شُرْبٍ ١٤
تَعْيينُ نُقْطَةِ التَّوازُنِ ١٤
سِرُّ الجاذِبِيَّةِ ١٦
إيجادُ مَرْكَزِ الثِّقَلِ لِلأَجْسامِ غَيْرِ المُنْتَظَمَةِ الشَّكْلِ ١٦
حِيَلٌ بارِعَةٌ سِرُّها مَرْكَزُ الثِّقَلِ ١٨
الرَّوافِعُ أَيْضًا – أَنْواعُها وَتَطْبيقاتٌ عَلَيْها ٢٠
السَّطْحُ المائِلُ ٢٢
الإسْفينُ ٢٤
البَكَرَةُ ٢٤
المِرْفاعُ ٢٥
المَصاعِدُ باطِنُ الغِلافِ

مكتبة بلدية طرابلس العامة
قسم الأطفال
تاريخ الترقيم
رقم التسلسل

آلَةُ التَّعْذيبِ ٢٥
اِخْتِباراتٌ تَطْبيقِيَّةٌ عَلى البَكَراتِ ٢٦
الدّولابُ وَالجُزْعُ ٢٨
اللَّوْلَبُ (البُرْغِي) ٣٠
كَيْفَ تَعْمَلُ الآلاتُ ٣٢
التُّروسُ (الدَّواليبُ المُسَنَّنَةُ) ٣٤
الاِحْتِكاكُ ٣٦
مَحامِلُ الكُرَيّاتِ ٣٨
النَّوّاسُ (الرَّقّاصُ أَوِ البَنْدولُ) ٤٠
مَكَناتٌ تُديرُ مَكَناتٍ ٤٢
المُحَرِّكُ البُخارِيُّ ٤٤
مُحَرِّكُ الاِحْتِراقِ الدّاخِلِيِّ ٤٦
المُحَرِّكُ التّوربينِيُّ (العَنَفَةُ) ٤٨
المُحَرِّكُ الكَهْرَبائِيُّ ٤٨
المُحَرِّكُ النَّفّاثُ ٤٩
الطّاقَةُ النَّوَوِيَّةُ ٤٩
المَكَناتُ – لَيْسَتْ خَيْرًا بِلا شَرٍّ ٥٠
ماذا بَعْدُ؟ ٥١